Б. Н. Уголев

ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ И ЛЕСНОЕ ТОВАРОВЕДЕНИЕ



Учебник

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

Б. Н. Уголев

ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ И ЛЕСНОЕ ТОВАРОВЕДЕНИЕ

Допущено УМО по образованию в области лесного дела в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 250100 «Лесное дело», 250300 «Технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» и направлениям подготовки дипломированных специалистов 250200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», по специальности 150405 «Машины и оборудование лесного комплекса»

Издание пятое, переработанное и дополненное



Москва
Издательство Московского государственного университета леса
2007

УДК 630*81.001.5(075.8)
У26

Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2000 г. для направления подготовки 250100 «Лесное дело», 250300 «Технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» и направлениям подготовки дипломированных специалистов 250200 «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», по специальности 150405 «Машины и оборудование лесного комплекса»

Рецензенты: зав. кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель наука РФ, член РАЕН В.И. Мелехов
зав. кафедрой древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии, доктор технических наук А.Д. Платонов

Работа подготовлена на кафедре древесиноведения

Уголев, Б. Н.
У26 Древесиноведение и лесное товароведение : Учебник. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. –351 с.

В учебнике изложены сведения о строении древесины и коры, их химических свойствах и продуктах переработки. Рассмотрены методы испытаний и показатели физико-механических свойств, пороки, стойкость и характеристики древесины основных пород. Освещены вопросы классификации и стандартизации лесных товаров: даны характеристики лесоматериалов, пилопродукции, композиционных древесных материалов.

УДК 630*81.001.5(075.8)

ISBN 5-8135-0400-1

© Б. Н. Уголев, 2001
© Б. Н. Уголев, 2005
© ГОУ ВПО МГУЛ, 2007



Памяти моей жены Лили посвящается

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание учебника «Древесиноведение с основами лесного товароведения» вышло в свет в 1975 г, а второе – 1986 г. через еще больший период времени в 2001 г. было выпущено значительно переработанное третье издание. Большой спрос на учебник потребовал выпуска четвертого стереотипного издания в 2005 г.

В предлагаемом вниманию читателя новом издании автор внес существенные изменения и дополнения, стремясь отразить результаты последних исследований и уловить дух времени, расставив акценты, подчеркивающие важную современную и будущую роль древесины в жизни человека.

Основное внимание в учебнике уделено древесиноведению. Отражены и вопросы лесного товароведения с учетом перехода на рыночные условия развития экономики нашей страны.

Учебник написан в соответствии с программой дисциплины «Древесиноведение. Лесное товароведение» (специальность 250403), рассчитанной на наибольшее количество часов по сравнению с дисциплинами этого профиля по другим специальностям. Учебник предназначен также для изучения древесиноведения и лесного товароведения по программам дисциплин, предусмотренных учебными планами специальностей 250401, 240406, 250201, 150405, 220301, 031202, 080109, 080102, 080502, 050501.

В книге содержатся сведения, которые могут быть полезными для работников лесной, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности, лесного хозяйства, строительства и торговли.

Считаю своим приятным долгом выразить благодарность проф. И.П. Дейнеко, к. т. н. А.К. Курицыну за ценные замечания, а также А.А. Калининой за подготовку компьютерного макета учебника.

Отзывы и пожелания просим высылать по адресу: 141005. Мытищи-5. Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ

Июль 2007г.
Москва

ВВЕДЕНИЕ

Лесной покров Земли занимает около одной пятой суши. Принято выделять лесные зоны умеренного пояса, включающие бореальные (северные) хвойные, широколиственные и смешанные леса; зоны тропического и субтропического поясов [47, 44].

Экологическое значение леса трудно переоценить. Половина вдыхаемого человеком кислорода образуется лесными растениями. Леса – крупнейший поглотитель и накопитель углерода, содержание которого в атмосфере в виде углекислого газа непрерывно возрастает, угрожая из-за парникового эффекта повышением среднеглобальной температуры. Леса играют важную роль в сохранении необходимого разнообразия биологических видов. Древесные растения вырабатывают биомассу, необходимую для существования всего живого на Земле.

Как важнейшая часть биосферы лес, аккумулируя солнечную энергию, влияет на климат, круговорот воды в природе. Лес регулирует запасы воды в почве, защищает ее от эрозии, суховеев, пыльных бурь. Он выполняет оздоровительные и санитарно-гигиенические функции. Непрерывно возрастает рекреационное значение лесов как места отдыха и туризма. Многие полезности извлекают из растущего, живого леса. Не менее важное значение имеет заготовка древесины и других продуктов при сборе лесного урожая.

С давних пор человек познал и оценил достоинства древесины, которая удовлетворяла его разнообразные нужды – служила строительным, поделочным материалом и топливом. В наше время, благодаря успехам науки и техники, разработано и широко используется множество искусственных конструкционных и технологических материалов. Однако древесина не утратила своего значения. Потребление древесины во всем мире неуклонно растет.

Мировые запасы древесины по последним данным ФАО составляет около 380 млрд. $м^3$, в том числе примерно 1/3 хвойных пород. Лесопокрытая площадь планеты равна 3,5 млрд. га. Леса распределены неравномерно и запасы в Америке составляют примерно половину мировых (причем в Латинской Америке они вдвое больше, чем в Северной Америке). На долю Азии (без России) приходится примерно седьмая часть запасов, несколько меньше – в Африке. Запасы в Европе (без России) равны примерно 4 %, а в Австралии и Океании – менее 2 %.

Россия – крупнейшая лесная держава, ее лесопокрытая площадь составляет 777 млн. га, а запасы древесины – 82 млрд. $м^3$, в том числе 4/5 хвойных пород [43]. Это означает, что на долю России приходится более 1/5 лесопокрытой площади планеты и мировых запасов древесины, в том числе почти половина запасов наиболее ценной древесины хвойных пород.

Практически нет такой отрасли народного хозяйства, которая не потребляла бы древесину. Многообразное использование ее объясняется редкостным сочетанием в этом продукте живой природы многих ценных свойств. Древесина представляет собой прочный и одновременно легкий материал, обладающий хорошими теплоизоляционными свойствами, способностью без разрушения поглощать работу при ударных нагрузках, гасить вибрации. Она легко обрабатывается режущими инструментами, склеивается, удерживает металлические и другие крепления. Древесина имеет прекрасные декоративные свойства; ей присуща уникальная резонансная способность. Эти природные особенности древесины позволяют использовать ее для производства строительных деталей и конструкций, мебели и музыкальных инструментов, тары и спортивного инвентаря, в качестве шпал, крепи для угольной и горнорудной промышленности, а также для многих других целей.

Однако материалы, получаемые из древесины чисто механическим путем, имеют недостатки. Они вызваны тем, что древесине присущи: изменчивость свойств, неоднородность строения, анизотропия, наличие пороков, способность усыхать, разбухать, коробиться и растрескиваться, загнивать и возгораться. Перечисленные недостатки в значительной мере устраняются путем химической и химико-механической переработки древесины в листовые и плитные материалы – бумагу, картон, древесностружечные и древесноволокнистые плиты, фанеру и др. Композиционные древесные материалы наряду с натуральной древесиной применяются в производстве домов, в судо- и вагоностроении, мебельной промышленности и многих других отраслях народного хозяйства.

Введение в древесину антисептиков, антипиренов, смол, а также пластификация и прессование позволяют улучшить свойства натуральной древесины и получить био- и огнестойкие материалы, обладающие повышенной прочностью, износостойкостью и формоустойчивостью, антифрикционными и другими необходимыми технологическими и эксплуатационными свойствами.

Древесина служит сырьем для выработки множества ценных продуктов: кормовых дрожжей, используемых в сельском хозяйстве; корда для шинной промышленности; искусственных волокон для текстильной промышленности; древесного угля для производства полупроводников; лекарственных препаратов, растворителей, дубителей и т.д. Перечень продуктов, получаемых из древесины (их насчитывается до 20 тыс.), можно было бы продолжать, но и такой краткий обзор дает достаточное представление о значении древесины для народного хозяйства, культуры и быта людей.

Древесина в отличие от нефти, угля и газа относится к возобновляемым природным ресурсам. Это неоспоримое преимущество древесного сырья перед ископаемыми ресурсами. Следует также отметить возможность повторного использования древесины.

В условиях ограниченности запасов топлива важное значение приобретает малая энергоемкость получения древесины, которая в несколько раз (а по сравнению, например, с алюминием – десятки раз) ниже, чем у других конструкционных материалов.

Древесина становится сырьем для получения жидкого и газообразного топлива, продукции органического синтеза, кормовых продуктов для сельского хозяйства и в перспективе – продуктов питания.

Немалую роль при оценке древесины как материала будущего играют ее неповторимые эстетические свойства. Неодолимо постоянное стремление человека к общению с этим благородным природным материалом. Древесина – экологически дружественный материал. Отработанная древесина легко поддается биологическому разложению и не загрязняет окружающую среду.

Выдающаяся роль в будущем отводится интеллектуальным материалам. Так называют искусственные материалы, которые полезно для человека реагируют на внешние воздействия, вызванные изменением состояния окружающей среды. Одним из наиболее характерных признаков таких материалов является «эффект памяти формы». Древесина способна после принудительного измерения формы восстанавливать ее при возвращении к исходному физическому состоянию. Это свойство, а также ряд других достоинств древесины позволяют отнести ее к природным интеллектуальным материалам.

Большой спрос на древесину в настоящее время и расширение потребления ее в будущем с особой остротой ставят вопрос о рациональном использовании лесных богатств как о важной части общей проблемы охраны природы. Правовые основы использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов установлены в принятом в 2006 г. Лесном кодексе РФ [45]. Один из основных принципов лесного законодательства состоит в обеспечении «многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов для удовлетворения потребностей общества в лесах и лесных ресурсах». Должна быть разработана, как отмечает Н.А. Моисеев [67], система требований к качеству древесины при лесовыращивании, учитывающая интересы потребителей и производителей основных видов лесопродукции. Эффективное использование древесины опирается на достижения науки и передового опыта и во многом зависит от познания ее фундаментальных свойств.

Комплекс сведений о строении и свойствах древесины, которые получают в результате биологических, химических, физических и механических исследований, содержит непрерывно развивающаяся научная дисциплина д р е в е с и н о в е д е н и е. В ней сосредоточиваются сведения не только о древесине ствола, но и данные о коре, корнях и кроне дерева. Потребительские качества лесных материалов и продуктов рассматриваются в л е с н о м т о в а р о в е д е н и и.

История зарождения и развития отечественного древесиноведения как научной дисциплины связана с работами В.В. Петрова (1813), А.Е. Теплоухова (1842), А.В. Гадолина (1873), Д.Н. Кайгородова (1878), П.А. Афанасьева (1879), Н.М. Бурого (1900), Н.А. Филиппова (1912), В.А. Петровского (1913), С.А. Богословского (1915) и других ученых. В этих работах были вскрыты важные закономерности и определены показатели некоторых свойств древесины отдельных пород, а также установлено влияние на них условий произрастания.

В 19–20-х годах исследования свойств древесины проводили Н.А. Филиппов, Н.Т. Кузнецов, С.И. Ванин, Л.М. Перелыгин, Е.И. Савков. Крупные успехи в развитии древесиноведения были достигнуты в 30-х годах. В Институте древесины, из которого впоследствии был выделен Центральный научно-исследовательский институт механической обработки древесины (ЦНИИМОД), во Всесоюзном институте авиационных материалов (ВИАМ), Центральном научно-исследовательском институте промышленных сооружений (ЦНИИПС), а также в других исследовательских организациях и вузах проводились исследования основных физико-механических свойств древесины лесных пород из различных районов страны. Значительные работы в этой области провели С.И. Ванин, Е.И. Савков, А.Х. Певцов, Н.Н. Чулицкий, Ф.П. Белянкин, Н.Л. Леонтьев, А.И. Кондратьев, Н.Н. Абрамов, А.А. Солнцев, Н.И. Стрекаловский. Особенно велики заслуги Л.М. Перелыгина, разработавшего первый стандарт на методы физико-механических испытаний древесины. Исследования пороков древесины, которые также завершились созданием стандарта, проводились в ЦНИИМОДе (А.Т. Вакин, В.В. Миллер, Е.И. Мейер и др.). Строение древесины и коры изучали Л.А. Иванов, Л.М. Перелыгин, И.С. Мелехов и др.

В 40–60-х годах важные исследования по физическим и механическим свойствам древесины провели Ю.М. Иванов, Ф.П. Белянкин, Н.Л. Леонтьев, А.Н. Митинский, П.Н. Хухрянский, П.С. Серговский, В.А. Баженов, В.Н. Быковский; по анатомии древесины – А.А. Яценко-Хмелевский, В.Е. Вихров, В.Е. Москалева; в области пороков и хранения древесины – А.Т. Вакин, С.Н. Горшин, Ф.И. Коперин и др.

В 70-80-х годах ценные работы были выполнены в Институте леса и древесины им. В.Н. Сукачева (ИЛД) в Красноярске – по тепловым и влажностным свойствам древесины (Б.С. Чудинов); плотности (Л.Н. Исаева) и проницаемости древесины жидкостями и газами (Е.В. Харук); в Лесотехнической академии (ЛТА) – по анизотропии упругих свойств и прочности древесины (Е.К. Ашкенази); плотности, порокам древесины, биологическим основам ее защиты; квалиметрии древесного сырья (О.И. Полубояринов, Д.В. Соколов, А.Л. Синькевич, В.А. Соловьев); ботанической анатомии древесины (А.А. Яценко-Хмелевский, М.И. Колосова); в ЦНИИМОДе – по стандартизации методов испытаний древесины и

пиломатериалов (А.М. Боровиков и др.); в Сенежской лаборатории консервирования древесины – по определению биостойкости древесины (С.Н. Горшин, И.А. Чернцов, П.И. Рыкачев); анатомии древесины, пораженной грибами (И.Г. Крапивина); в Центральном научно-исследовательском институте бумаги (ЦНИИБ) – по технической анатомии древесины (В.Е. Москалева, З.Е. Брянцева, Е.В. Гончарова); в Институте горного лесоводства – по закономерностям деятельности камбия, формированию структуры и свойств древесины кавказских пород (Э.Д. Лобжанидзе); в Институте химии древесины (Рига) – по строению и топохимии клеточной стенки (В.С. Громов, П.П. Эриньш); свойствам модифицированной древесины (К.А. Роценс и др.), в Ботаническом институте им. В.А. Комарова – по морфологии и диагностике древесины хвойных пород (Е.С. Чавчавадзе), а также в ряде других организаций.

В Московском лесотехническом институте (МЛТИ) автором и под его руководством в 50-80-х годах были проведены исследования деформативности, реологических свойств, внутренних напряжений (Ю.Г. Лапшин, Э.Б. Щедрина, М.В. Николайчук, В.И. Пименова, Х.А. Фахретдинов и др.), неразрушающих ультразвуковых методов контроля (В.Д. Никишов), акустических свойств (И.И. Пищик), усушки и разбухания древесины (В.П. Галкин) и др. Были также исследованы влагопроводность (П.С. Серговский), теплофизические свойства (Г.С. Шубин), проницаемость (А.И. Расев), свойства древесины как конструкционного материала (Ю.С. Соболев), процессы формирования древесины карельской березы (А.Я. Любавская, В.В. Коровин).

В 90-х годах прошлого и начале текущего столетия продолжались исследования в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО АН РАН – по дендрохронологии (Е.А. Ваганов); термодинамике взаимодействия древесины с органическими растворителями (С.Р. Лоскутов); физиологии, морфогенным и биохимическим аспектам формирования древесины (Н.Е. Судачкова, Г.Ф. Антонова); экологической анатомии (В.Е. Бенькова), в Ботаническом институте им. В.Л. Комарова РАН – комплексному эколого-анатомическому анализу древесных растений, строению резонансной древесины (Е.С. Чавчавадзе), в Санкт-Петербургской лесотехнической академии – биологическому древесиноведению (О.И. Полубояринов, В.А. Соловьев, А.М. Сорокин, Л.Л. Леонтьев и др.), модификации древесины (В.И. Патякин), технологическим свойствам древесины (А.Н. Чубинский, В.И. Онегин) в Институте леса КНЦ РАН – биохимии аномальных образований древесины (Л.Л. Новицкая), мониторингу памятников деревянного зодчества (В.А. Козлов, М.В. Кистерная), в Научно-исследовательском институте лесной генетики и селекции – формированию структуры и технических свойств различных типов древесины (Н.Е. Косиченко), селекции на качество древесины (В.К. Ширнин); в Марийском государственном техническом университете – строению, свойствам и порокам

древесины пород Среднего Поволжья (В.И. Пчелин, И.А. Алексеев), резонансным свойствам древесины (В.И. Федюков, А.А. Колесникова), моделированию формы ствола деревьев (П.М. Мазуркин), в Архангельском государственном техническом университете – механической деструкции древесины (В.И. Мелехов), изменчивости древесины физико-механических свойств (В.Н. Волынский), в Воронежской государственной лесотехнической академии – влажностным и тепловым свойствам древесины (Т.К. Курьянова, И.Н. Вариводина, А.Д. Платонов), диэлектрическим свойствам мореного дуба (А.Л. Гутман, А.Ю. Даниленко), модифицированной древесине (В.А. Шамаев); в Сибирском государственном технологическом университете – строению и свойствам древесины лиственницы и других пород (Е.В. Харук, В.Н. Ермолин, Н.В. Дзыга); в Уральской лесотехнической академии – влиянию сушки на качество древесины (В.В. Сергеев), биологическим повреждениям древесины (Д.А. Беленков); в Брянской инженерно-технологической академии – качеству древесины (В.Н. Поляков); в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете – стойкости модифицированной древесины (В.М Хрулев, Н.А. Машкин).

В Московском государственном университете леса (МГУЛ, быв. МЛТИ) под руководством автора продолжались исследования деформационных превращений и сушильных напряжений в древесине, гигроусталости (Н.В. Скуратов, Г.А. Горбачева), свойств топляковой древесины (Я.Н. Станко, Л.В. Поповкина). Были также исследованы свойства поверхности древесины (В.Г. Санаев). Обобщены результаты исследований древесины длительной выдержки (И.И. Пищик). Продолжались исследования по экологии насекомых – разрушителей древесины (Е.Г. Мозолевская), аномальной древесины (В.В. Коровин, С.П. Погиба) и др.

Проводились также исследования модифицированной древесины в Московском государственном строительном университете (Е.Н. Покровская) и других организациях; долговечности деревянных конструкций – в Центральном институте строительных конструкций (Л.М. Ковальчук), ЦНИИМОД (Ю.А. Варфоломеев) и др.

В 1968 г. был создан Координационный совет по современным проблемам древесиноведения при Институте леса и древесины им. В.Н. Сукачева в Красноярске (председатель Б.С. Чудинов). С 1990 г. этот совет функционирует при МГУЛ (председатель Б.Н. Уголев) и с 1991 г. находится под эгидой Международной академии наук о древесине (ИАВС). В Региональный Координационный совет по древесиноведению (РКСД) входит 50 ученых из России, а также из Белоруссии (Н.И. Федоров), Болгарии (Г. Блыскова), Венгрии (Ш. Мольнар), Грузии (Э.Д. Лобжанидзе), Латвии (К. Роценс, Я. Долацис), Польши (В. Молинский), Словакии (С. Курятко, М. Бабияк), Украины (В.П. Рябчук, П.В. Билей, Е.А. Пинчевская и др.), Эстонии (Т. Капс). Совет проводит ежегодные выездные сессии в разных городах России. РКСД организовал четыре крупных меж-

дународных симпозиума "Строение, свойства и качество древесины" в Москве-Мытищах (1990 г.), Москве (1996 г.), Петрозаводске (2000 г.), С.-Петербурге (2004 г.). В изданных трудах симпозиумов [67] содержатся результаты исследований в области фундаментального и прикладного древесиноведения, намечены перспективные направления их развития. При РКСД в 1997 г. организован эффективно действующий Реестр экспертов высшей квалификации в области древесиноведения, лесного товароведения и сопредельных технологических дисциплин.

Отечественные исследования существенно расширили знания о древесине. Многие из них занимают достойное место среди таких зарубежных ученых с мировым именем, как Ф. Кольманн, А. Фрей-Висслинг, Г. Марк, Р. Тренделенбург, Л. Форрейтер, А. Бьеркман, В. Лизе, В. Тунель, А. Юлинен, Х. Скаар, Г. Босхард, Г. Секхар, Д. Сиау и др.

Выдающийся деятель отечественной лесной науки и лесотехнического образования Г.Ф. Морозов (1867 – 1920) впервые указал на необходимость разделения преподававшегося в Санкт-Петербургском лесном институте курса «Лесная технология» на две части: основной должно было стать «Учение о древесине», а прикладной – «Технология дерева».

В качестве самостоятельной учебной дисциплины древесиноведение оформилось в 1932 г., когда в вузах были открыты соответствующие кафедры. В 1934 г. С.И. Ванин написал учебник по древесиноведению, который переиздавался в 1940 и 1949 гг.



С.И. Ванин
1891 – 1951

Непрерывно возрастающий объем знаний о древесине находил отражение в таких руководствах и учебниках, как "Механические свойства и испытания древесины" (Л.М. Перелыгин и А.Х. Певцов, 1934), "Альбом пороков древесины" (В.В. Миллер и А.Т. Вакин, 1938), "Древесиноведение" (Л.М. Перелыгин, 1949, 1954, 1957 и посмертные переиздания в 1960, 1969 и 1971 гг.), "Строение древесины" (Л.М. Перелыгин, 1954), "Основы и методы анатомического исследования древесины" (А.А. Яценко-Хмелевский, 1954), "Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях" (В.Е. Москалева, 1957), "Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород" (В.Е. Вихров, 1959), "Древесина. Показатели физико-механических свойств. РТМ"

(Н.Л. Леонтьев, 1962), "Испытания древесины и древесных материалов" (Б.Н. Уголев, 1965), "Альбом пороков древесины" (А.Т. Вакин, О.И. Полубояринов, В.А. Соловьев, 1969), "Техника испытаний древесины" (Н.Л. Леонтьев, 1970).



Л.М. Перелыгин
1891 – 1959

Систематизированные сведения о лесных товарах приводятся в изданных в разные годы руководствах и учебниках: "Лесное товароведение" А. Белилина (1931 г.), А.И. Кузнецова (1932, 1934, 1940 гг.), С.Я. Лапирова-Скобло и А.Ф. Тиайна (1933 г.), С.Я. Лапирова-Скобло (1950, 1959 и посмертное издание в 1968 г.), А.С. Ярмолинского, П.Л. Калашникова, В.Д. Бахтеярова (1972 г.).

Этот краткий перечень литературы охватывает период, предшествующий выходу первого издания учебника. За последующее время появился еще ряд крупных работ, которые отражены в приведенном списке литературы.

При изучении комплексной дисциплины "Древесиноведение и лесное товароведение" студент должен получить сведения о строении дерева и древесины; химических, физических и механических свойствах древесины; их изменчивости и взаимосвязи; пороках древесины; природной стойкости и способах ее повышения; характерных особенностях древесины различных пород; классификации, стандартизации и квалиметрии лесных товаров; потребительских свойствах лесных товаров и методах их испытаний. Таким образом, данная дисциплина является базовой, на которую опираются последующие технологические дисциплины всех лесотехнических специальностей. Приобретенные знания в указанных областях должны способствовать активной инженерно-исследовательской деятельности специалистов на производстве.

РАЗДЕЛ I. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. СТРОЕНИЕ ДЕРЕВА

§ 1. Древесные растения

Весь растительный мир делится на низшие и высшие растения, для которых характерно наличие корня, стебля и листьев. В зеленых листьях из углерода, поглощаемого из воздуха в виде углекислоты, и воды, поступающей из почвы через корни и стебель, на свету совершается фотосинтез – процесс образования сложных органических веществ. Кроме того, происходят и другие физиологические процессы, необходимые для роста и развития растений: дыхание, питание, превращение и передвижение питательных веществ, транспирация (испарение воды) и др.

К древесным растениям, представляющим собой жизненную форму высших растений, относятся деревья, кустарники и лианы. В древесиноведении рассматриваются преимущественно деревья.

Взрослое дерево имеет ствол, крону и корни (рис. 1,а). Корневая система включает мелкие корешки, всасывающие воду с растворенными в ней минеральными веществами, и толстые корни, которые удерживают дерево в вертикальном положении, проводят воду и хранят запасы питательных веществ.

Ствол связывает корневую систему с кроной дерева, представляющей собой совокупность ветвей и листьев. По определенным зонам ствола перемещаются в восходящем токе водные растворы минеральных веществ из почвы, а в нисходящем – растворы органических веществ, выработанных в листьях. В стволе также хранятся запасные питательные вещества. В процессе роста дерева ствол приобретает конусообразную форму, происходит удлинение ствола в верхушечной точке роста и ежегодное увеличение диаметра вследствие деятельности камбия. К а м б и й – это живая образовательная ткань. В умеренном климатическом поясе наибольшая его активность наблюдается весной и летом. Зимой камбий бездействует. Этим обусловливается слоистое строение ствола дерева.

На рис. 1,б показан процесс развития хвойного дерева из семени и схема строения ствола дерева в возрасте 13 лет. По мере роста дерева ежегодно как бы на стержень надевается полый конус. На рис. 1,б изображена лишь часть ствола. На нижнем поперечном срезе можно обнаружить 10 концентрических полуокружностей (границы годичных приростов), а на верхнем таком же срезе их только 5. Следовательно, потребовалось соответственно 3 года и 8 лет для того, чтобы дерево достигло той высоты, на которой сделан нижний и верхний поперечные срезы. Ветви и корни дерева формируются так же, как и ствол.

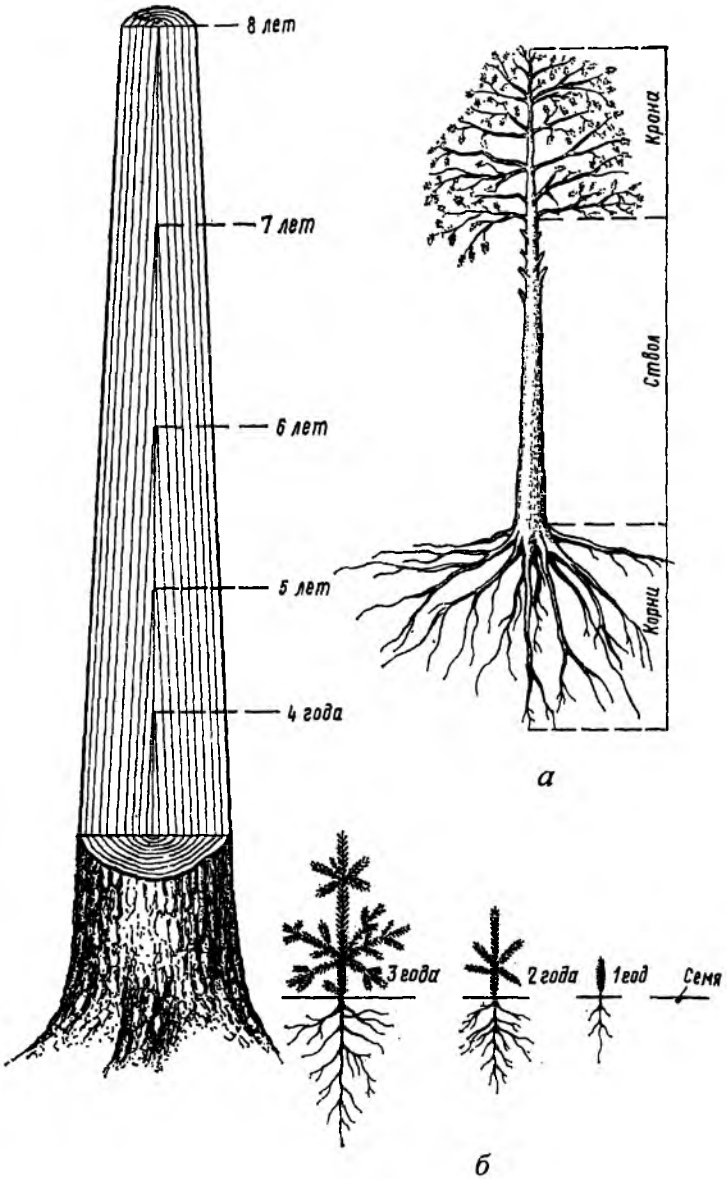


Рис. 1. Части растущего дерева и схема формирования ствола:
а – растущее дерево; *б* – схема формирования ствола у 13-летнего хвойного дерева

По ботанической классификации хвойные и лиственные деревья входят в два отдела семенных растений – голосеменных и покрытосеменных. К первым, у которых семена лежат открыто на поверхности семенных чешуй, относится подкласс хвойных; они характеризуются своеобразной формой листьев – игольчатой или чешуйчатой хвоей. Это в большинстве своем вечнозеленые смолистые растения. Ко второму отделу отнесены древесные растения, у которых семяпочки развиваются в завязи пестика. При созревании семян из завязи образуется плод, защищающий семена от внешних воздействий. Листья покрытосеменных представляют собой пластины с разветвленным жилкованием. У большинства растений листья перед наступлением зимы опадают. Большинство лиственных деревьев по числу семядолей принадлежит к классу двудольных, за исключением пальм и бамбука, которые относятся к однодольным растениям.

Как известно из систематики растений, классы и подклассы состоят из семейств, а они, в свою очередь, объединяют в себе роды, в которых собраны сходные виды. Каждое растение имеет ботаническое название, которое дается на двух языках – русском и латинском с указанием рода и вида.

Например, в названии "сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.)" имя существительное (на латинском языке пишется с большой буквы) указывает род, а имя прилагательное – вид. Кроме того, в научной литературе принято после латинского видового названия ставить начальную букву фамилии автора, впервые описавшего этот вид; в данном примере стоит буква L., что означает Линней. Сосна обыкновенная входит в семейство сосновых (*Pinaceae*).

Ниже будут рассматриваться в основном особенности строения и свойства, характерные для древесных растений определенного рода (сосны, дуба и др.), а иногда отдельного вида (сосна обыкновенная, дуб черешчатый и др.). В этом смысле следует понимать употребляемые выражения "древесная порода" или просто "порода". Кроме ботанических названий пород в практике часто используют торговые названия.

§ 2. Основные части дерева

Дерево, как известно, состоит из ствола, корней и кроны. Относительный ориентировочный объем этих составных частей в деревьях разных пород приведен в табл. 1 [56]. Как видим, более половины объема дерева приходится на ствол.

1. Относительный объем частей дерева

Порода	Объем частей дерева, %			Порода	Объем частей дерева, %		
	Ствол	Корни	Ветви		Ствол	Корни	Ветви
Лиственница	77–82	12–15	6–8	Береза	78–90	5–12	5–10
Сосна	65–77	15–25	8–10	Бук	55–70	20–25	10–20
Ясень	55–70	15–25	15–20	Клен	65–75	15–20	10–15

Ствол. Реальная форма ствола представляет собой тело, образованное вращением вокруг вертикальной оси некоторой кривой. Д.И. Менделеев полагал возможным в качестве образующей принимать кубическую параболу. При более детальном описании формы ствола обычно указывают, что в нижней части он близок к нейлоиду – телу, образованному вращением вогнутой кривой – параболы Нейля. На большом протяжении ствол имеет форму выпуклого параболоида второго порядка и на отдельных коротких участках приближается к цилиндру. Только вершинная часть ствола по форме близка к конусу. Весь ствол по форме напоминает брус равного сопротивления, что позволяет ему выдерживать большие нагрузки от собственной массы дерева и ветровых усилий.

Ствол изучают на трех главных разрезах: поперечном и двух продольных – радиальном и тангенциальном (рис. 2). Плоскость поперечного, или торцового, разреза перпендикулярна оси ствола. Плоскость одного из продольных разрезов проходит через сердцевину ствола по радиусу торца – радиальный разрез, плоскость другого разреза – тангенциального – направлена по касательной к окружностям, образованным слоями годичного прироста (см. рис. 1). На поперечном разрезе можно указать радиальные и тангенциальные направления, а на продольных разрезах направления: вдоль волокон и радиальное или тангенциальное.

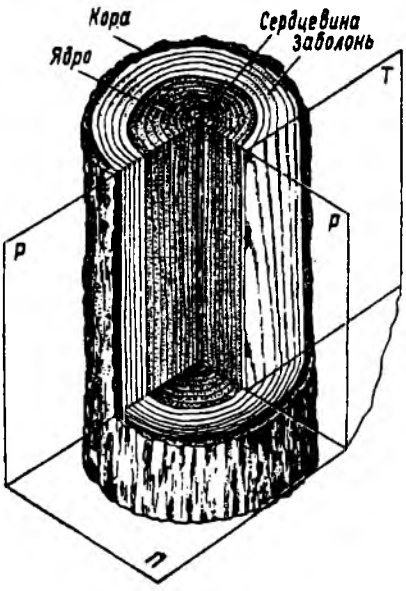


Рис. 2. Основные части ствола и главные разрезы:
П – поперечный; *Р* – радиальный; *Т* – тангенциальный

Основные анатомические части ствола легко обнаружить на его поперечном разрезе. Наружная часть – кора – резко отличается по внешнему виду от следующей за ней древесины. Древесина окружает очень небольшую центральную зону – сердцевину. Расположенный между древесиной и корой тонкий слой камбия простым глазом незаметен.

Сердцевина сравнительно редко находится в геометрическом центре сечения ствола, обычно она более или менее смещена от него. Диаметр сердцевины большей частью колеблется в пределах 2–5 мм (у бузины достигает 1 см). У многих пород

сердцевина округлая или овальная, у ольхи – пятиугольная, у дуба – звездчатая [16]. На продольном радиальном разрезе сердцевина имеет вид узкой коричневой полоски – прямой у хвойных и извилистой у лиственных пород.

Древесина занимает зону, диаметр которой в зависимости от породы, возраста дерева и условий его произрастания изменяется в очень широких пределах – примерно от 6 – 8 до 100 см и даже более. Форма поперечного сечения ствола и, следовательно, древесины чаще всего близка к окружности, но иногда сечение приобретает эллипсовидную форму. Диаметр уменьшается по высоте ствола, причем сильнее у деревьев, выросших не в густом лесу, а на свободе.

Древесину, особенно в верхней части ствола, пронизывают сучки, представляющие собой остатки ветвей. Если ветвь живая, прирост древесины происходит одновременно и на стволе, и на ветви. Слои годичного прироста ствола переходят в слои ветви, окружая ее сердцевину, связанную с сердцевиной ствола (рис. 3). Такая ветвь в срубленном дереве составляет сучок, вполне сросшийся с древесиной ствола. При отмирании ветви прирост древесины происходит только на стволе, связь между древесиной ствола и ветви нарушается, и основание ветви постепенно зарастает. Так образуются сначала зарастающие, а затем и глубоко заросшие сучки.

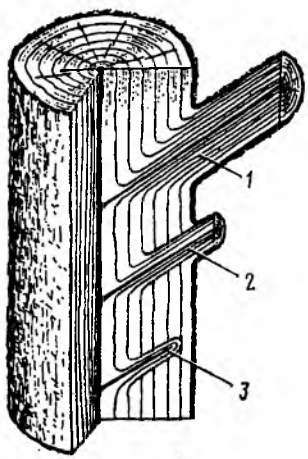


Рис. 3. Схема образования сучков:
1 – сучок от живой ветви; *2* – зарастающий сучок от отмершей ветви; *3* – заросший сучок

По степени зарастания и размерам сучков в стволе дерева, выросшего в насаждении, можно выделить три зоны: нижнюю (комлевую), где у сердцевины расположены мелкие и глубоко заросшие сучки, на поверхности ствола незаметные; среднюю зону с более крупными заросшими сучками и на поверхности ствола часто заметными по бугрообразным утолщениям, а ближе к кроне – зарастающими, т.е. еще выходящими наружу; верхнюю, или зону живой кроны, от ветвей которой остаются крупные сучки. В зависимости от разреза ствола сучки имеют разную форму.

Сучки нарушают однородность строения древесины и являются самым распространенным ее пороком.

Кора на поперечном разрезе ствола имеет форму обычно темноокрашенного кольца (см. рис. 2). В толстой коре взрослых деревьев можно различить два слоя: наружный – корку (его назначение – предохранять

живые ткани ствола от резких колебаний температуры, испарения влаги, проникновения грибов, бактерий и механических повреждений) и внутренний слой – л у б , непосредственно прилегающий к камбию. В растущем дереве луб проводит вниз по стволу образующиеся в листьях органические питательные вещества.

У молодых деревьев кора гладкая, иногда покрыта тонкими опадающими чешуями; при утолщении ствола в коре появляются трещины, которые с возрастом дерева углубляются. По характеру поверхности различают кору гладкую (пихта), бороздчатую (ясень), чешуйчатую (сосна), волокнистую (можжевельник) и бородавчатую (бересклет).

Цвет коры снаружи изменяется в широких пределах: от белого (береза), светло-серого (пихта), зеленовато-серого (осина) до серого (ясень), темно-серого (дуб) или темно-бурого (ель). С каждым годом толщина коры увеличивается. Однако вследствие малой величины годичного прироста и постепенного отпада наружных слоев в виде чешуй кора никогда не достигает такой толщины, как древесина. Относительный объем коры в стволе (без сучьев) для основных пород согласно данным Н.П. Анучина приведен в табл. 2.

2. Относительный объем коры в стволе

Порода	Объем коры, %	Порода	Объем коры, %
Лиственница	22–25	Дуб	14–21
Сосна	10–16	Бук	7–11
Ель	6–13	Береза	13–15
Кедр	6–10	Липа	12–16
Пихта	11–19	Осина	11–20

С возрастом дерева относительный объем коры снижается, а с ухудшением условий произрастания, наоборот, повышается. Доля коры в объеме ствола уменьшается с увеличением диаметра ствола. Толщина коры уменьшается от комля к вершине ствола.

Крона и корни. Значительная доля биомассы дерева приходится на крону и корни растущего дерева. Ухудшение условий произрастания эту долю увеличивает.

Крона включает ветви и сучья, представляющие собой живые или отмершие боковые побеги дерева. Ветви (сучья) имеют такое же строение, как и ствол. Доля коры в сучьях намного больше, чем в стволах. Количество коры в сучьях уменьшается с увеличением их диаметра. Кора на сучьях гладкая, тонкая и состоит в основном (до 90 %) из луба. Плотность и механические свойства древесины ветвей (сучьев) несколько выше, чем у древесины ствола. Особенно заметно увеличение твердости у основания сучьев.

ГЛАВА 2. СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ

В зависимости от поставленных целей исследование строения древесины, а также коры, проводят с разных позиций. Кроме традиционной ботанической анатомии в последние десятилетия успешно развивается техническая анатомия древесины как материала для промышленного использования.

Анатомические исследования древесины обеспечивают получение сведений, необходимых для определения пород, позволяют вскрыть структурную природу свойств древесины и наметить пути их направленного изменения в растущем дереве; создают предпосылки для модифицирования древесины и разработки эффективных технологических процессов ее переработки; дают возможность разрабатывать методы испытаний древесины, учитывающие особенности ее структуры.

Принято, различать макроскопическое и микроскопическое строение древесины.

§ 3. Макроскопическое строение древесины

Исследование макроскопического строения древесины наиболее доступно. Его можно наблюдать не прибегая к помощи более сильных оптических средств чем лупа.

Заболонь и ядро. На поперечном разрезе ствола многих пород в древесине выделяется темноокрашенная центральная зона – ядро и светлая наружная – заболонь (см. рис. 2).

У деревьев всех пород в раннем возрасте древесина состоит только из заболони и лишь с течением времени происходит отмирание живых элементов древесины, закупорка водопроводящих путей и отложение экстрактивных веществ в центральной зоне. При этом у одних пород происходит интенсивное изменение цвета указанной зоны древесины – она приобретает темную окраску, т. е. образуется ядро. Такие породы называют ядровыми.

У других пород отмирание центральной части древесины не сопровождается ее потемнением. Породы с однородной окраской всей древесины принято называть безъядровыми. Среди группы безъядровых пород есть такие, у которых центральная зона в растущем дереве имеет меньшую влажность, чем периферическая. Тогда эту зону называют спелой древесиной, а породы этой группы – спелодревесными. Имеются также породы, в которых центральная часть не отличается от периферической ни по цвету, ни по содержанию воды; такие породы называют заболонными.

Указанное деление пород давно укоренилось в древесиноведческой литературе. Однако у нас [14, 15] и за рубежом [91] все больше распространяется представление о том, что ядро образуется у всех пород, только

у одних темная окраска его возникает всегда или при определенных условиях, а у остальных – оно остается светлым. Следовательно спелая древесина – неокрашенное ядро.

Тем не менее для целей определения пород по внешнему виду древесины целесообразно сохранить деление пород на ядровые и безъядровые. Из хвойных пород к ядровым относятся: лиственница, сосна, кедр*, можжевельник и тис, к безъядровым (спелодревесным) – ель и пихта.

Среди лиственных пород ядровые – дуб, ясень, вяз, ильм, грецкий орех, ива, тополь и др. Заболонные породы – береза, ольха, клен, липа и др.; спелодревесные – бук, осина и др. На срезах древесины граница между заболонью и ядром видна четко (лиственница) или заметна слабо (кедр).

Ширина заболони у разных пород различная, она зависит от того, как рано начало образовываться ядро. Например, у белой акации образование ядра начинается уже на 3-й год, а у сосны в 30 – 35 лет, поэтому у белой акации ширина заболони всего лишь несколько миллиметров, а заболонь сосны примерно в 10 раз шире. С возрастом площадь сечения ствола, занятая заболонью, уменьшается. У растущих деревьев сосны наличие широкой заболони можно предсказать по коре, в этом случае гладкой, небольшой толщины, с малыми и тонкими чешуйками. На поперечном разрезе ствола у той стороны, которая несет более крупные ветви, ширина заболони больше, чем у противоположной.

По высоте ствола ширина заболони у сосны и ели уменьшается, т. е. в нижней части она наибольшая. У дуба, по данным В.Е. Вихрова, ширина заболони по высоте ствола почти не меняется, в то же время доля площади поперечного сечения ствола, приходящаяся на заболонь, увеличивается вверх по стволу.

С уменьшением влажности почвы (в разных типах леса) у дуба позднее образуется ядро и больше ширина заболони. Ухудшение условий произрастания приводит к повышению относительного содержания заболони и у сосны.

Ширина заболони зависит также от степени развития деревьев. Например, для сосны из Московской области установлено [56] уменьшение ширины заболони при переходе от деревьев сильного роста (I класс) к деревьям с замедленным ростом (II и III классы).

В ветвях происходит такой же процесс ядрообразования, как и в стволе. Поэтому древесина сучков от молодых живых ветвей в верхней части кроны состоит из одной заболони. Сучки от ветвей из нижней части кроны содержат ядровую зону, а основания уже отмерших ветвей состоят сплошь из ядра (или спелой древесины).

---

* Здесь и далее вместо полных ботанических названий "сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.)" и "сосна кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour)" используются сокращенные названия соответственно: сосна и кедр.

Годичные слои. Ежегодный прирост древесины называется годичным слоем. На поперечном разрезе (рис. 4) годичные слои образуют концентрические окружности. У некоторых пород они имеют волнистый вид, например у граба, тиса, можжевельника; у бука и ольхи граница между годичными слоями в местах пересечения ее широкими сердцевинными лучами (см. далее) загибается внутрь (к сердцевине), что также придает слоям волнистые очертания.

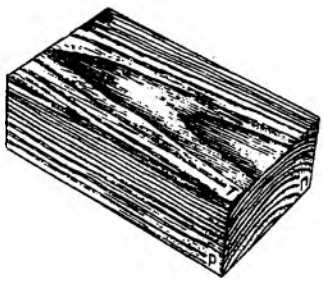


Рис. 4. Вид годичных слоев на главных разрезах: ранняя (светлая) и поздняя (темная) древесина годичных слоев на поперечном *П*, радиальном *Р* и тангенциальном *Т* разрезах

На радиальном разрезе годичные слои имеют вид прямых полос (образующие конусов). На тангенциальном разрезе годичные слои представляют собой извилистые, U-образные полосы (границы сечений конусов продольными плоскостями, не проходящими через их ось). Годичные слои особенно хорошо заметны у хвойных и некоторых лиственных пород.

У деревьев, произрастающих в тропической зоне, собственно годичные слои в древесине могут отсутствовать. Наблюдающаяся же слоистость древесины этих пород может быть вызвана тем, что во время сухих периодов деятельность камбия приостанавливается. Иногда деревья образуют за год два слоя (после того как молодая листва была объедена насекомыми или побита весенними заморозками); так появляются ложные годичные слои с менее резкими границами, часто не охватывающие всю окружность ствола. В отдельные годы может не происходить образования годичных слоев из-за недостаточного питания, декоративной обрезки ветвей и т. д.

Ширина годичных слоев сильно колеблется в зависимости от породы, возраста, условий произрастания, положения в стволе. Наиболее узкие годичные слои (до 1 мм) образуются у медленно растущих пород (самшита), а наиболее широкие (1 см и больше) характерны для быстрорастущих пород (тополя, ивы). Влияние возраста дерева проявляется в изменении ширины годичных слоев по радиусу ствола. При благоприятных условиях роста дерева у сердцевины (т. е. в самом молодом возрасте) находится некоторое количество довольно узких слоев, затем следует зона сравнительно широких слоев, а далее, по мере приближения к коре, ширина годичных слоев постепенно уменьшается. Эта зависимость лучше выражена у светолюбивых хвойных пород (сосна).

На величину прироста древесины влияют метеорологические условия, и их изменения, происходившие в далеком прошлом, можно просле-

дить по ширине годичных слоев. Дерево как бы "записывает" время совершения метеорологических событий: засух и влажных периодов, сильных морозов зимой и ранних заморозков весной, жары летом, циклов солнечной активности и даже космических катастроф. Научная дисциплина, основанная на анализе годичных слоев, называется дендрохронология (от греч. "дендрон" – дерево). Для различных регионов и пород составляются стандартные дендрошкалы, отражающие характер изменения ширины годичных слоев на протяжении многих веков. Они используются в климатологии, археологии, астрофизике и других областях науки. Значительный вклад в развитие дендрохронологии внесли отечественные ученые Е.А. Ваганов, В.Е. Вихров, С.И. Костин, Б.А. Колчин, Н.В. Ловелиус и др.

По высоте ствола (от комля к вершине) ширина годичных слоев у деревьев, выросших в лесу, увеличивается, что приближает форму ствола к цилиндрической [3].

У одиночно стоящих деревьев самые широкие слои находятся в нижней части ствола, что увеличивает его конусность.

Ранняя и поздняя древесина годичных слоев. У многих пород ясно видно, что годичный слой состоит из двух частей (см. рис. 4): внутренней, обращенной к сердцевине, более светлой и менее твердой – ранней древесины (она образуется в первой половине вегетационного периода), и наружной, более темной и твердой – поздней древесины. Переход от ранней древесины к поздней может быть очень резким (например, у лиственницы), достаточно четким (у сосны) или почти незаметным (у кедра). Различие в цвете, а также в строении ранней и поздней древесины смежных годичных слоев обусловливает хорошую видимость их у большинства хвойных и некоторых лиственных пород.

По ранней древесине годичных слоев в растущем дереве происходит передвижение воды (вверх по стволу), а поздняя древесина выполняет преимущественно механические функции. Соотношение между ранней и поздней древесиной у разных пород различное, оно зависит также от условий произрастания, возраста и изменяется по радиусу и высоте ствола. Диапазон изменения содержания поздней древесины в зависимости от породы весьма большой. Так, у белой акации поздняя древесина занимает примерно 80 % ширины годичного слоя, а у пихты 20 %.

По радиусу ствола у хвойных пород содержание поздчей древесины в направлении от сердцевины к коре сначала увеличивается, а затем ближе к коре уменьшается. По высоте ствола содержание поздней древесины убывает в направлении от комля к вершине и может снизиться в 1,5 – 2 раза.

Поздняя древесина примерно в 2,5 раза плотнее ранней, ее прочность на растяжение вдоль волокон, по данным И.С. Мелехова для ели в 2,7 раза, а по данным В.Е. Вихрова для лиственницы в 3,4 раза превосходит прочность ранней древесины; существенно отличаются жесткость и другие ее

свойства. Поэтому количество поздней древесины является важным показателем, характеризующим качество древесины в целом.

Сердцевинные лучи. У некоторых лиственных пород на поперечном разрезе ствола хорошо видны светлые, часто блестящие линии, расходящиеся по радиусам от сердцевины к коре и называемые сердцевинными лучами*.

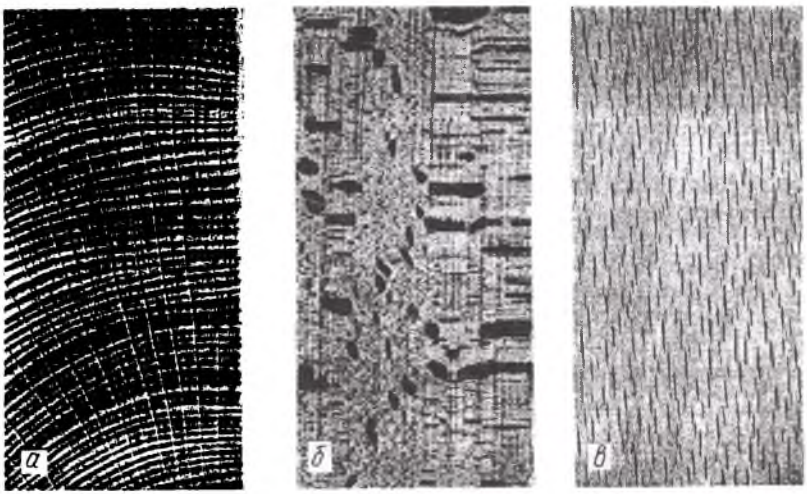


Рис. 5. Сердцевинные лучи у бука на:
а – поперечном, *б* – радиальном, *в* – тангенциальном разрезах

В растущем дереве сердцевинные лучи служат для проведения воды и питательных веществ в горизонтальном направлении и для хранения запасных питательных веществ зимой. Сердцевинные лучи имеются у всех пород – как лиственных, так и хвойных. Однако размеры лучей у разных пород различны. Измеряемая на поперечном разрезе (рис. 5,а) ширина лучей в зависимости от породы колеблется в пределах 0,05 – 1 мм.

По ширине различаются три типа лучей: о ч е н ь у з к и е, невидимые невооруженным глазом; у з к и е, трудно различимые невооруженным глазом; ш и р о к и е, ясно видимые невооруженным глазом. Широкие лучи могут быть настоящими и ложноширокими (агрегатными), т. е. состоящими из пучка близко расположенных друг к другу узких лучей. Среди отечественных пород настоящие широкие лучи имеют дуб, бук и платан, ложноширокие – граб, ольха и лещина. Узкие лучи имеются в древесине клена, вяза, ильма, карагача, липы, кизила и некоторых других пород. Очень узкие лучи, которые можно лишь иногда заметить на строго радиальном разрезе (лучше – расколе), свойственны древесине всех хвойных и многих лиственных пород,

* В современной ботанической литературе эти образования называют древесинными лучами в отличие от лубяных лучей, находящихся в лубе коры.

(например, ясень, береза, осина, тополь, ива, груша, рябина). У некоторых пород (бук) лучи расширяются при пересечении границ годичных слоев.

На радиальном разрезе древесины сердцевинные лучи обычно заметны в виде поперечных блестящих полосок или пятен, окрашенных темнее или светлее окружающей древесины (рис. 5,б). Ширина полосок зависит от высоты лучей, а длина – от степени совпадения плоскости разреза с направлением луча. У некоторых пород (платан, клен, ильм и др.) эти полоски на радиальном разрезе образуют красивый рисунок (текстуру).

На тангенциальном разрезе сердцевинные лучи имеют чечевицеобразную форму (рис. 5,в), высота их в зависимости от породы колеблется в широких пределах – от 160 мм (у ольхи) до долей миллиметра (у хвойных пород).

Сердцевинные повторения. У некоторых лиственных пород (береза, ольха, клен, ива, осина, груша, рябина) на продольных разрезах древесины видны буроватые или коричневатые (иногда желтые), прямые или изогнутые узкие полоски, замкнутые контуры, черточки, пятнышки, по виду напоминающие сердцевину. Эти образования называются *сердцевинными повторениями*. Ранее считали, что они возникают в результате повреждения камбия насекомыми. Н.Е. Косиченко, В.В. Коровин полагают, что эти микроструктурные аномалии могут быть вызваны и другими причинами. По данным А.Л. Синькевича ширина сердцевинных повторений у березы на радиальном разрезе 0,15 – 0,25 мм, на тангенциальном 0,35 – 0,45 мм, длина находится в пределах 5 – 12 мм.

На поперечном разрезе сердцевинные повторения также заметны в виде коротких черточек или пятнышек, расположенных вдоль границ годичных слоев. Чаще всего сердцевинные повторения встречаются в нижней части стволов указанных лиственных пород. Иногда их можно обнаружить и у хвойных (пихта). В центральной части ствола количество сердцевинных повторений больше, чем в периферической зоне. У березы, ольхи, груши сердцевинные повторения встречаются настолько постоянно, что могут служить диагностическим признаком породы.

Сердцевинные повторения ухудшают качество шпона и изготовляемой из него фанеры; поэтому они под названием *прожилки* рассматриваются среди пороков древесины (см. гл. 7).

Сосуды. Эти элементы строения древесины характерны только для лиственных пород. Они часто хорошо заметны на поперечном разрезе в виде отверстий округлой формы. В растущем дереве по сосудам, имеющим форму трубок, поднимается вода с растворенными в ней минеральными веществами из корней в крону. Сосуды подразделяются на *крупные*, легко обнаруживаемые невооруженным глазом, и *мелкие*, не различимые без микроскопа.

Крупные сосуды чаще сосредоточены в ранней зоне годичных слоев, образуя на поперечном разрезе сплошное кольцо сосудов (например, у дуба), реже крупные сосуды распределены по годичному слою равномерно

(например, у грецкого ореха). Собранные в группы мелкие сосуды (при наличии крупных сосудов в ранней зоне) сосредоточены в поздней зоне, где они заметны невооруженным глазом благодаря более светлой окраске. Если крупных сосудов нет, мелкие сосуды у большинства пород рассеяны по всему слою; однако их количество и величина несколько уменьшаются по направлению к внешней границе слоя.

По расположению сосудов в древесине лиственные породы подразделяют на кольцесосудистые, с кольцом крупных сосудов в ранней зоне годичных слоев и рассеяннососудистые, у которых сосуды независимо от величины распределены по годичному слою более или менее равномерно (рис. 6,г).

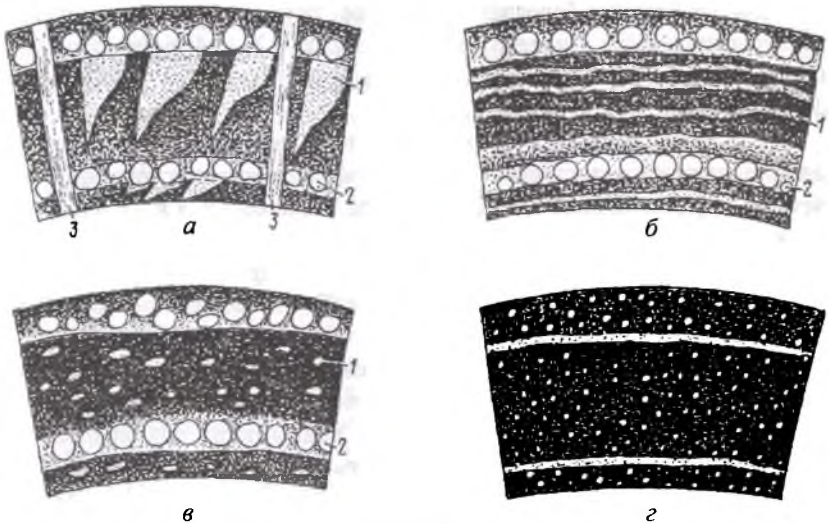


Рис. 6. Схемы расположения сосудов в древесине лиственных пород:
а, б, в – кольцесосудистые породы с радиальной, тангенциальной и рассеянной группировкой мелких сосудов в поздней зоне; *г* – рассеяннососудистая порода:
1 – мелкие сосуды в поздней зоне; 2 – крупные сосуды в ранней зоне; 3 – широкие сердцевинные лучи

Резкая разница между ранней и поздней зонами обусловливает хорошую видимость годичных слоев у кольцесосудистых пород. В то же время у рассеяннососудистых пород нет различия между этими зонами, годичные слои имеют однородное строение, и границы между ними плохо заметны.

Кольцесосудистыми среди наших лиственных пород являются дуб, ясень, каштан съедобный, вяз, ильм, карагач, бархатное дерево, фисташка и некоторые другие. К рассеяннососудистым относится большинство лиственных пород, среди них с крупными сосудами – грецкий орех и хурма, с

мелкими – остальные: береза, осина, ольха, липа, бук, клен, платан, тополь, ива, рябина, груша, лещина и др.

Среди кольцесосудистых можно выделить породы с радиальным расположением (рис. 6,а) групп мелких сосудов, напоминающих язычки пламени (дуб, каштан съедобный), тангенциальным расположением (рис. 6, б) этих групп, образующих вытянутые вдоль годичных слоев сплошные или прерывистые волнистые линии (ильм, вяз, берест), и беспорядочным расположением (рис. 6, в) групп мелких сосудов в виде отдельных светлых черточек или точек (ясень).

На продольных разрезах сосуды, особенно крупные, заметны в виде бороздок. Сосуды редко проходят в стволе строго вертикально, поэтому на продольных разрезах бороздки обычно короткие, так как в разрез попадает только часть сосуда. Диаметр крупных сосудов 0,2 – 0,4 мм, мелких 0,016 – 0,1 мм. Длина сосудов обычно не превышает 10 см, но у дуба достигает 3,6 м, а у ясеня иногда доходит до 18 м.

По радиусу ствола в направлении от сердцевины к коре размер сосудов увеличивается, достигает максимума, а затем остается постоянным или несколько уменьшается. По высоте ствола число сосудов и площадь их сечения возрастают по направлению от комля к вершине.

Смоляные ходы. Эти элементы строения древесины присущи только хвойным породам. Они представляют собой наполненные смолой каналы, пронизывающие древесину сосны, кедра, лиственницы и ели (у остальных хвойных – пихты, тиса и можжевельника – их нет). Невооруженным глазом можно обнаружить только вертикальные смоляные ходы, а связанные с ними горизонтальные ходы видны лишь под микроскопом. Смоляные ходы заметны на поперечном разрезе в поздней зоне годичных слоев (у сосны и кедра здесь сосредоточено 2/3 общего их количества) в виде белых точек, а на радиальном и тангенциальном разрезах в виде темноватых продольных черточек и линий. Наиболее крупные смоляные ходы у кедра, их диаметр в среднем 0,14 мм, у сосны 0,1 мм, у ели 0,09 мм, у лиственницы 0,08 мм. Длина ходов колеблется в пределах 10 – 80 см, причем в верхней части стволов ели и лиственницы их длина примерно в 2 раза меньше, чем в нижней.

По количеству смоляных ходов на первом месте стоит сосна, далее следует кедр, затем лиственница и ель. У двух последних пород смоляные ходы занимают не более 0,2 % общего объема древесины. Однако и у пород с крупными и многочисленными смоляными ходами они занимают менее 1 % общего объема древесины.

§ 4. Определение породы по макростроению древесины

Каждая порода отличается строением древесины, тесно связанным с ее свойствами. Оценка физико-механических и технологических свойств древесины с достаточной для практики точностью может быть сделана по справочным данным, если известна порода.

Для установления рода, а иногда и вида древесного растения (идентификации пород), используют признаки, характеризующие макростроение древесины. В число таких признаков входят: наличие ядра; ширина заболони и степень резкости перехода от ядра к заболони; степень видимости годичных слоев и их очертания на поперечном разрезе; четкость границы между ранней и поздней древесиной годичных слоев; наличие, размеры, окраска и количество сердцевинных лучей; размеры, характер группировки и состояние (пустые или заполненные) сосудов в древесине лиственных пород; наличие, размеры и количество вертикальных смоляных ходов в древесине хвойных пород; сердцевинные повторения в древесине некоторых лиственных пород.

Кроме этих основных признаков, при определении пород учитывают некоторые дополнительные признаки. Необходимость использования дополнительных признаков возникает в тех случаях, когда основные признаки выражены нечетко. К дополнительным признакам относятся цвет, блеск, текстура, плотность и твердость.

Древесина некоторых пород обладает характерным цветом, что позволяет легче определить породу. Однако не всегда цвет древесины может служить достаточным основанием для идентификации породы. Дело в том, что нормальная окраска древесины может изменяться под действием внешних физико-химических факторов, а также вследствие поражений грибами. Значительно меньшее диагностическое значение имеет блеск древесины.

При перерезании анатомических элементов на поверхности продольных разрезов образуется тот или иной рисунок. Особенно характерный рисунок – т е к с т у р у образуют сердцевинные лучи. Например, по текстуре поверхности тангенциального разреза бука (см. рис. 5, в) эта порода определяется безошибочно. Иногда в качестве дополнительного признака привлекаются связанные между собой свойства – плотность и твердость древесины. Примерная оценка плотности (массы) и твердости образцов может быть особенно полезна для определения рассеяннососудистых лиственных пород, основные признаки которых часто недостаточно ярко выражены.

В качестве пособий для определения отечественных пород можно использовать достаточно полные сводки макроскопических признаков и определители, составленные С.Н. Абраменко (1935), В.Н. Сукачевым (1940), С.И. Ваниным (1940), Л.М. Перелыгиным (1948), В.Е. Вихровым (1959), Б.И. Цыбыком (1963) , Б.Н. Уголевым (1965).

§ 5. Микроскопическое строение древесины

Уровни микроскопического строения древесины. В отличие от макростроения, особенности которого можно обнаружить невооруженным глазом, более деятельно строение древесины исследуют с помощью микроскопов. Согласно современной материаловедческой классификации микроскопическое строение древесины можно рассматривать на трех уровнях. Мезоструктура охватывает объекты с поперечными размерами от 10 мкм до 500 мкм и более. Микроструктура представлена объектами размером 100 нм – 10 мкм. Наноструктура включает объекты размером 1 нм – 100 нм.

Способы исследования микроскопического строения древесины. Строение древесины можно исследовать с помощью микроскопов на срезах толщиной порядка 10 мкм. Широко применяют световые (фотонные) микроскопы с увеличением в десятки и сотни раз. Предельное полезное увеличение таких микроскопов составляет 2000 раз. При бóльших увеличениях из-за дифракции, обусловленной волновой природой света, не удается различить дополнительные подробности структуры объекта. Разрешающая способность микроскопа, определяющая минимальные размеры обнаруживаемых деталей препарата, равна половине длины волны электромагнитных колебаний. При использовании видимого света разрешающая способность микроскопов составляет 0,15 – 0,2 мкм (1500 – 2000 Å)*. Применяя невидимые ультрафиолетовые лучи, имеющие меньшую длину волны, разрешающую способность можно несколько увеличить; в этом случае изображение приходится фиксировать на фотопленке.

Используя поляризационные микроскопы, отличают анизотропные тела от изотропных. При расположении поляризационных призм под углом 90° все поле зрения темное и светятся только анизотропные элементы, двояко преломляющие лучи.

Окрашивая срезы, получают цветные микрохимические реакции, позволяющие судить о составе и распределении веществ, слагающих исследуемый объект. Для этой же цели используют люминесцентные микроскопы, которые дают цветные изображения из-за способности входящих в древесину веществ (в натуральном виде или после окрашивания флюрохромами) по-разному светиться в ультрафиолетовых лучах.

С 50-х годов прошлого века широко развернулись исследования строения древесины с помощью электронных микроскопов. В этих приборах вместо видимого света используют электронные лучи, имеющие гораздо меньшую длину волны. Применяются просвечивающие (ПЭМ) и

---

* 1 Å (ангстрем) = 0,1 нм (нанометра) = 10^{-4} мкм (микрометра) = 10^{-10} м.

растровые (РЭМ) электронные микроскопы. Разрешающая способность ПЭМ у современных моделей достигает 0,1 – 0,2 нм (1 – 2 Å).

Растровые, или сканирующие (от английского "скан" – просматривать), электронные микроскопы имеют меньшую разрешающую способность (2 – 3 нм), но они дают трехмерное изображение, выявляющее глубину структурных элементов.

Для исследований с помощью ПЭМ применяют ультратонкие (толщиной 25 – 70 нм) срезы или р е п л и к и – слепки с объектов. Для увеличения контрастности изображения ультратонкие срезы обрабатываются веществами, образующими электронноплотные соединения. При использовании реплик контрастность достигается напылением в вакууме слоя углерода и последующим нанесением под углом (оттенением) труднопроницаемого тяжелого металла (хрома, платины, золота и др.), который слоем неравномерной толщины откладывается на рельефной поверхности реплики.

При использовании РЭМ на сухие объекты наносят мелкозернистый слой тяжелого металла. Для предотвращения искажений структуры при сушке объекты замораживают в жидком азоте.

Описание строения древесины, приводимое ниже, основано на данных, полученных всеми видами микроскопии, а также на результатах исследования тонкой структуры древесины химическими и физическими методами.

Новые возможности открывает использование микроскопов, снабженных вычислительными устройствами для количественной оценки структуры объекта (имидж-анализ), томографов. В последнее время лаборатории оснащаются атомно-силовыми и сканирующими туннельными микроскопами с высокой разрешающей способностью.

При последующем изложении вопросов, связанных с анатомией древесины, использована в основном терминология, рекомендуемая Международной ассоциацией анатомов древесиины (ИАВА) и введенная в отечественную ботаническую литературу А.А. Яценко-Хмелевским [89].

Растительные клетки. Все растения состоят из клеток, в которых живое содержимое – п р о т о п л а с т заключено в о б о л о ч к и. По форме растительное клетки делят на две основные группы – паренхимные и прозенхимные.

П а р е н х и м н ы е (от латинского "пар" – равный и греческого "энхима" – налитое) клетки имеют округлую или многогранную форму с примерно одинаковыми размерами по трем направлениям (0,01 – 0,1 мм), оболочки клеток обычно тонкие. П р о з е н х и м н ы е (от греческого "прос" – по направлению к...) клетки имеют сильно вытянутую, напоминающую волокно, форму (диаметр таких клеток 0,01 – 0,05 мм, длина 0,5 – 3,0, иногда до 8 мм) и часто утолщенные оболочки.

Древесина растущего дерева, в основном (на 90 – 95 %), состоит из мертвых клеток и лишь часть клеток (паренхимные) сохраняет живой про-

топласт. Длина большинства клеток ориентирована в направлении продольной оси дерева.

Совокупность клеток одинакового строения, выполняющих одни и те же функции, образует ткани. В растущем дереве представлены следующие типы тканей: покровные, расположенные на самой поверхности растения; механические, придающие прочность телу растения; проводящие, служащие для проведения воды с растворенными в ней питательными веществами; запасающие, являющиеся хранилищами запасных питательных веществ (сахаров, крахмала и др.); образовательные, функция которых – образование новых клеток путем многократного деления; ассимиляционные, усваивающие углекислоту в процессе фотосинтеза. Ассимиляционная ткань наибольшего развития достигает в листьях. Древесина включает проводящую, механическую и запасающую ткани*, в коре к ним присоединяется покровная ткань; между древесиной и корой находится тонкая прослойка образовательной ткани (камбия).

Камбий состоит из двух типов живых начальных клеток – веретеновидных и лучевых инициалей. От первого типа инициалей, имеющих сильно вытянутую в одном направлении форму, в древесине и коре образуются анатомические элементы, ориентированные вдоль оси дерева. От второго типа инициалей, имеющих примерно одинаковые размеры по всем направлениям, образуются элементы, расположенные в растущем дереве горизонтально. Преобладают веретеновидные инициали.

В период активности камбия инициали вытягиваются в направлении радиуса ствола и делятся тангенциальными перегородками. При этом одна из вновь образовавшихся клеток остается камбиальной, а другая, после еще одного-двух делений, становится клеткой древесины или луба коры. В сторону древесины клетки откладываются в 4 – 6 раз чаще, чем в сторону коры; поэтому древесины в стволе значительно больше, чем луба.

В связи с приростом древесины по радиусу ствола увеличивается и длина окружности, которую должен охватывать слой камбия. Это достигается главным образом за счет увеличения количества камбиальных клеток, вследствие их деления продольными радиальными или косорадиальными перегородками. Образующиеся в последнем случае короткие клетки вклиниваются своими концами между уже имеющимися камбиальными клетками ("скользящий рост"). Кроме того, происходит некоторое увеличение размеров клеток в тангенциальном направлении.

---

* По современным ботаническим представлениям древесина – комплексная проводящая ткань, состоящая из собственно проводящих, а также механических и запасающих элементов. У некоторых пород отдельные элементы выполняют одновременно несколько функций.

В сформировавшейся древесине имеются пустые или заполненные различными веществами пространства между округленными углами клеток – межклетники.

Образование и строение клеточных стенок древесины. Во время вегетации в клетке камбия появляется клеточная пластинка, которая, разрастаясь, разделяет материнскую клетку на две дочерние. Эта пластинка состоит из пектиновых веществ – аморфных, гидрофильных и очень пластичных. Затем по обе стороны от клеточной пластинки откладываются первичные оболочки, отграничивающие протопласт каждой дочерней клетки.

Первичная оболочка состоит из отдельных микрофибрилл целлюлозы, погруженных в матрицу из преимущественно аморфных веществ. Целлюлоза (от латинского "целлюла" – клетка) представляет собой углеводный полимер с очень длинной цепной молекулой.

Матрица в начале формирования клетки состоит из пектиновых веществ и гемицеллюлоз* – веществ, близких к целлюлозе, но отличающихся меньшей длиной молекул. В матрице содержится также значительное количество воды. По мере увеличения поперечных размеров, а затем и длины клеток, происходит поверхностный рост первичных оболочек, легко осуществляемый благодаря податливости матрицы. В длину клетки увеличиваются больше, чем в поперечных направлениях, что, как полагают, объясняется сдерживающим влиянием целлюлозных микрофибрилл (от латинского «фибра» - волокно).

После окончания роста клетки растяжением начинается образование вторичной оболочки, состоящей вначале из целлюлозы и гемицеллюлоз. Со стороны полости клетки на первичную оболочку слоями откладываются целлюлозные микрофибриллы. Упрочнение клеточных оболочек происходит также вследствие их одревеснения, благодаря образованию лигнина. Сложный неуглеводный полимер – лигнин (от латинского "лигнум" – дерево) придает клеточным оболочкам жесткость, способность сопротивляться сжимающим нагрузкам. Лигнификация происходит на этапе образования вторичной оболочки. Вначале древеснеет первичная оболочка (прежде всего в углах клетки), затем межклеточный слой и в дальнейшем – вторичная оболочка.

Первичная оболочка, содержащая сравнительно мало целлюлозы, для обеспечения необходимой прочности древеснеет значительно больше, чем вторичная. У вполне сформировавшейся клетки матрица состоит в основном из лигнина.

---

* С.Р. Лоскутов [46] и другие авторы используют для названия этих веществ термин – полиозы.

Обогащенное лигнином межклеточное вещество и первичные оболочки двух соседних клеток образуют сложную срединную пластинку.

Изучая срубленную древесину как материал, необходимо иметь в виду, что она состоит из клеток с отмершим протопластом, т. е. только из одних клеточных оболочек. Оболочка взрослой клетки в технической анатомии древесины называется "клеточная стенка", ее строению и свойствам посвящены сотни исследований, рассмотренных в известной монографии [32], и последующие работы.

Основное вещество, слагающее клеточную стенку и определяющее слоистость ее строения, – целлюлоза. Мельчайшим, но уже различимым с помощью электронного микроскопа структурным образованием является элементарная фибрилла, представляющая собой пучок макромолекул целлюлозы. Поперечные размеры элементарных фибрилл колеблются в довольно широких пределах. Можно считать, что условный диаметр элементарной фибриллы в среднем равен 3,5 нм, хотя по некоторым данным наибольший поперечный размер элементарной фибриллы может доходить до 10 нм. В состав элементарной фибриллы входит примерно 30 – 40 молекул целлюлозы. Элементарные фибриллы включают участки с упорядоченным (кристаллические области) и беспорядочным (аморфные области) расположением молекул целлюлозы. При этом одна и та же молекула проходит через кристаллические и аморфные области. Протяженность кристаллических областей (кристаллитов) составляет 100±20 нм, а длина аморфных зон 30 – 40 нм.

Основным структурным элементом, хорошо видимым в электронный микроскоп, является уже упоминавшаяся микрофибрилла. Это лентоподобное образование, имеющее размеры по толщине 5 – 10 нм, ширине 10 – 30 нм и длине – несколько микрометров, включает в себя элементарные фибриллы.

Иногда выделяют более крупные структурные образования, видные в обычный световой микроскоп. Это фибриллы, имеющие поперечные размеры порядка 400 нм и более.

Слоистое строение клеточной стенки можно наблюдать с помощью светового микроскопа. На микрофотографии (рис. 7), например, показан поперечный срез древесины сосны.

В поляризованном свете обнаруживается неоднородность клеточной стенки. Более детальное представление о строении клеточной стенки дает электронная микроскопия.

На рис. 8 показана схема строения клеточной стенки, предложенная В. Лизе и несколько дополненная нами.



Рис.7. Клеточные стенки на поперечном срезе древесины сосны. Ув. 1250 × (по В.Е. Москалевой)

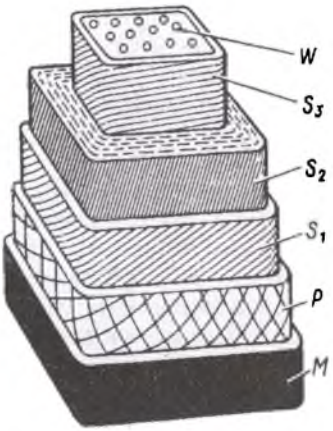


Рис. 8. Схема строения клеточной стенкирахеиды хвойных пород

На каждой "ступеньке" этой пространственной модели часть клеточной стенки, предшествующая данному слою, удалена. Тонкими линиями показано расположение микрофибрилл.

В нижней части модели изображена тонкая срединная пластинка *M*. Толщина ее колеблется в пределах 0,5 – 1,5 мкм. Срединная пластинка состоит преимущественно (на 60–90 %) из лигнина. Кроме того, здесь содержатся гемицеллюлозы и пектины, а также небольшие количества кремния и других минеральных веществ. Срединная пластинка отличается довольно большой пористостью: капилляры занимают примерно 20 % ее площади [32].

Первичная оболочка *P* также тонкая. В природном сыром состоянии толщина ее 0,1 – 0,5 мкм, в сухом состоянии она примерно в 3 раза меньше. На рис. 9,*а* показано беспорядочное расположение микрофибрилл в первичной оболочке после ее делигнификации. Между целлюлозными микрофибриллами находится лигнин. В "сложной срединной пластинке" его содержится примерно 70 %, целлюлозы – около 10 %, а остальное – гемицеллюлозы и пектин.

Вторичная оболочка *S* по крайней мере в 10 раз толще первичной. Она характеризуется спиральным расположением микрофибрилл под разными углами к продольной оси клетки. В тонком внешнем слое S_1 (его толщина примерно такая же, как у оболочки *P*) можно наблюдать несколько слоев – ламелл с перекрещивающимися спиралями микрофибрилл под углом к оси клетки примерно 60° у хвойных (рис. 9, *б*) и около 45° – у лиственных пород. Кроме того, у некоторых хвойных по-

род (например, лиственницы) встречаются микрофибриллы, направленные почти перпендикулярно к оси клетки.

В мощном среднем слое S_2, включающем в себя десятки ламелл, микрофибриллы расположены в виде правонаправленных (Z-образных) спиралей с очень небольшим углом наклона в 5 – 15° (редко до 30°). На рис. 9, *в* показан слой S_2 с микрофибриллами, вытянутыми почти вдоль оси клетки.

Во внутреннем слое S_3, толщиной всего лишь 0,1 – 0,2 мкм, микрофибриллы расположены по пологим спиралям с углом наклона 50 – 90°. На рис. 9, *г* показан слой, на поверхности которого видны отдельные бородавки. Эти бородавки встречаются у ряда пород и образуют так называемый бородавчатый слой *W*, состоящий из лигнина, гемицеллюлоз и простых белков – протеинов.

Матрица вторичной оболочки, окружающая целлюлозные микрофибриллы, включает в себя те же вещества, что и в первичной оболочке. Однако по сравнению с оболочкой *P* содержание лигнина в оболочке *S* уменьшается, а целлюлозы и гемицеллюлоз увеличивается. В матрице имеются пустоты, которые могут заполняться водой. Она может находиться и в самих микрофибриллах. По измерениям П.Н. Одинцова и П.П. Эриньша объем капилляров в насыщенных клеточных стенках древесины ели составляет 0,3 $см^3/г$, диаметр большинства капилляров 5 – 6 нм.

Имеющиеся в литературе сведения о размерах капилляров весьма разноречивы, так как они зависят от применяемых методов исследования, породы и состояния древесины. Так, по некоторым данным диаметр капилляров может доходить до 30 – 40 нм.

В абсолютно сухих клеточных стенках капилляры практически отсутствуют. Внутренняя поверхность абсолютно сухой древесины, составляющая примерно 1 $м^2$ на 1 г ее массы, немногим больше внешней поверхности клеточных стенок [32].

Таким образом, наноструктура древесины состоит из трех групп биополимеров: целлюлозы, выполняющей роль каркаса, а также лигнина и гемицеллюлоз, образующих согласно П.П. Эриньшу, матрицу с взаимопроникающими сетками из химических и физических связей. По современным данным микроструктура клеточных стенок включает линейно ориентированную целлюлозу и самоподобный (фрактальный) ветвистого вида лигнин (см. рис. 10).

Вторичная оболочка имеет углубления – поры. Обычно рассматривают пару пор, находящихся друг против друга в соседних клетках. Между полостями пор находится мембрана, образованная межклеточным веществом и первичными оболочками. Если вторичная оболочка нависает над полостью поры в виде свода, то пора называется окаймленной. При отсутствии такого свода пора называется простой. Вид окаймленных пор (мембраны удалены) на радиальных стенках трахеид показан на рис. 11. Иногда встречаются полуокаймленные поры, имеющие свод только в оболочке одной из двух соседних клеток.



Рис. 9. Расположение микрофибрилл в различных слоях клеточной стенки трахеид на электронографиях реплик, ПЭМ (*а*, *б*, *в* – по З.Е. Брянцевой, *г* – по В. Лизе):
а) Первичная оболочка *Р.* Лиственница. Ув. 5700×; *б*) Внешний слой S_1 вторичной оболочки. Лиственница. Ув. 7500×; *в*) Средний слой S_2 вторичной оболочки. Лиственница. Ув. 9000×; *г*) Внутренний слой S_3 вторичной оболочки, видны бородавки. Сосна. Ув. 10000×;

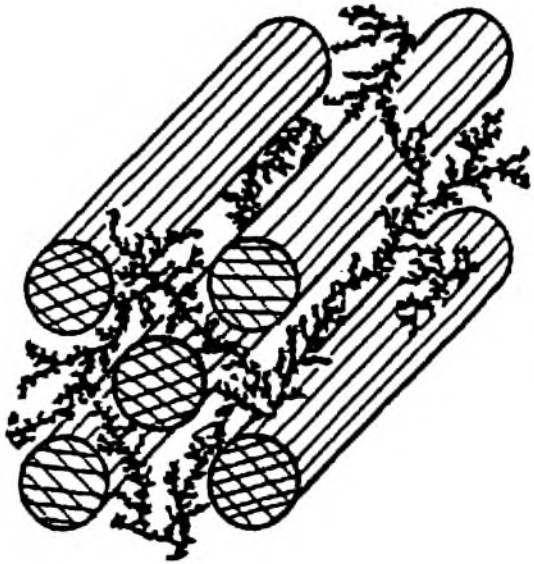


Рис. 10. Модель фрагмента материала клеточной стенки древесины как симбиоза линейной целлюлозы и фрактального ветвистого вида лигнина (по Я. Гравитису [94])

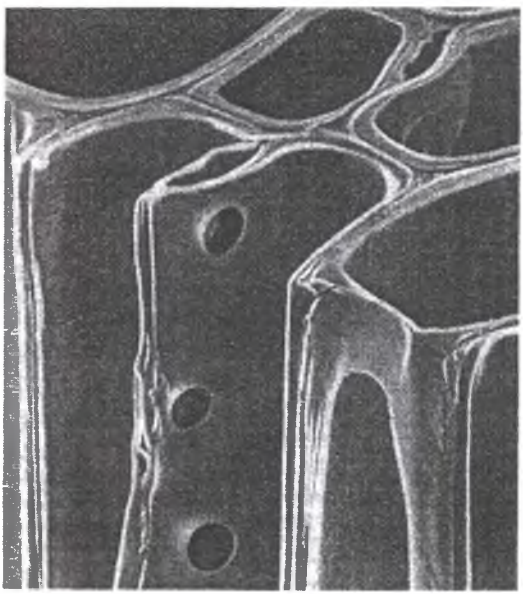


Рис. 11. Взаимное расположение трахеид с окаймленными порами на радиальных стенках. Сосна. РЭМ. Ув. 850× [По 92]

В центре мембраны в окаймленных порах у древесины хвойных пород имеется утолщение самой разнообразной формы – торус (рис. 12). Часть мембраны, окружающая торус, называется краевой зоной. Она хорошо проницаема, размер отверстий доходит до 200 нм. В лигнифицированном торусе отверстия обычно отсутствуют. Входное отверстие поры может иметь не только округлую, но и щелевидную форму.

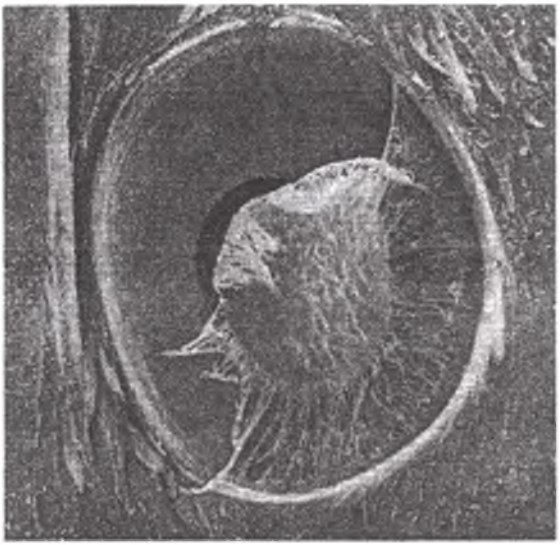


Рис. 12. Радиальный разрез окаймленной поры. Часть мембраны и торуса удалена. РЭМ. Ув. 3200× По [92]

Строение древесины хвойных пород. Образованная камбием так называемая вторичная древесина у хвойных пород состоит из ограниченного набора анатомических элементов. Они организованы в довольно упорядоченную мезоструктуру, которую целесообразно изучать, выделяя элементы, выполняющие в стволе живого дерева преимущественно одну из трех физиологических функций.

Объемная схема (рис. 13) показывает, что древесина сосны – типичной хвойной породы, состоит из двух взаимопроникающих систем клеток, расположенных вдоль и поперек оси ствола. Проводящую и механическую функции выполняют прозенхимные клетки с отмершим протопластом – трахеиды, которые в растущем дереве расположены главным образом вертикально. Они составляют основную долю (90 % и выше) объема древесины. Запасающую функцию выполняют живые паренхимные клетки.

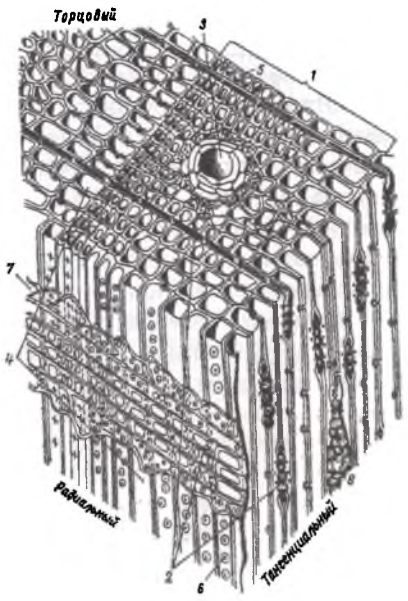


Рис. 13. Схема микроскопического строения древесины сосны (по В.Е. Вихрову):
1 – годичный слой; *2* – сердцевинные лучи; *3* – вертикальный смоляной ход; *4* – ранние трахеиды; *5* – поздняя трахеида; *6* – окаймленная пора; *7* – лучевая трахеида; *8* – многорядный луч с горизонтальным смоляным ходом

Трахеиды. У всех хвойных пород трахеиды (от греческого "трахейа" – дыхательное горло и "эйдос" – вид) имеют форму сильно вытянутых волокон с одревесневшими стенками и кососрезанными концами. На поперечном разрезе по форме они у большинства пород близки к прямоугольникам (иногда квадратам), а у лиственницы к пяти- или шестиугольникам. Трахеиды собраны в радиальные ряды. В каждом таком ряду крупнополостные трахеиды с относительно тонкими стенками сменяются трахеидами, отличающимися малыми полостями и толстыми стенками. Первые из указанных клеток образуются в начале вегетационного периода и называются ранними трахеидами; они выполняют в основном проводящую функцию. Вторые появляются в последующей стадии вегетационного периода и называются поздними трахеидами; это преимущественно механические элементы. Современные представления о причинах образования ранних и поздних трахеид на примере сосны и лиственницы рассмотрены Г.Ф. Антоновой [2].

В табл. 3 приведены по [74, 22, 39] средние значения сильно изменчивых размеров трахеид, полученные В.Е. Вихровым, А.Н. Гартманом, Т.А. Мелеховой, В.Е. Москалевой, Л.М. Перелыгиным и др.

3. Размеры трахеид некоторых хвойных пород*

Порода	Поперечные размеры трахеид, мкм			Длина, мм
	радиальный	тангенциальный	толщина стенки	
Лиственница	52,4 – 64,3 / 21,8 – 23,5	32,0 – 42,8 / 27,4– 39,3	2,0 – 3,4 / 6,1 – 11,6	2,5 – 5,7
Сосна	40,9 – 43,1 / 19,7 – 22,1	29,4 – 35,6 / 32,5 – 34,4	1,5 – 3,4 / 3,8 – 8,5	2,5 – 2,7
Ель	34 – 45 / 18 – 22	34,1 / 29,2	1,8 – 3,0 / 5,0 – 6,3	4,7
Пихта	24 - 45		1,7 / 3,8	2,6 – 4,1

*В числителе размеры трахеид ранней зоны годичного слоя, в знаменателе – поздней.

Отношение радиального размера клеток к толщине стенок у ранних трахеид в несколько раз больше, чем у поздних. Как видим, длина трахеид у отечественных хвойных пород равна обычно 2,5 – 4,5 мм, однако у секвойи она достигает 7,4 мм [99]. Средние поперечные размеры трахеид примерно в 100 раз меньше их длины. Разницы в длине ранних и поздних трахеид почти не наблюдается. Различия в строении ранних и поздних трахеид показаны на рис. 14, *а*, *б*.

В ранних трахеидах на радиальных стенках, особенно у концов (несколько закругленных), находится множество (70 – 90) крупных окаймленных пор с округлыми отверстиями. В поздних трахеидах поры располагаются не только на радиальных, но иногда и на тангенциальных стенках. Однако у этих трахеид поры мелкие, обычно имеют щелевидные отверстия и количество их у сосны и ели в 3 – 4 раза, а у лиственницы почти в 11 раз меньше, чем у ранних трахеид. Диаметр окаймленных пор у разных пород колеблется от 8 до 31 мкм, а диаметр отверстия от 4 до 8 мкм [56]. Между окаймленными порами у ранних трахеид сосны встречаются поперечные образования (крассулы).

В окаймленных порах мембрана иногда отклонена от центрального положениями, и торус закрывает отверстие окаймленной поры. Количество таких закрытых пор, проникновение жидкостей через которые затруднено, в ранних трахеидах ядра (спелой древесины) растущих деревьев значительно больше, чем в поздних трахеидах. По исследованиям В.А .Баженова (1952) и других [50, 78] в сухой древесине существенных различий в положении торуса в трахеидах ядра и заболони не наблюдается.

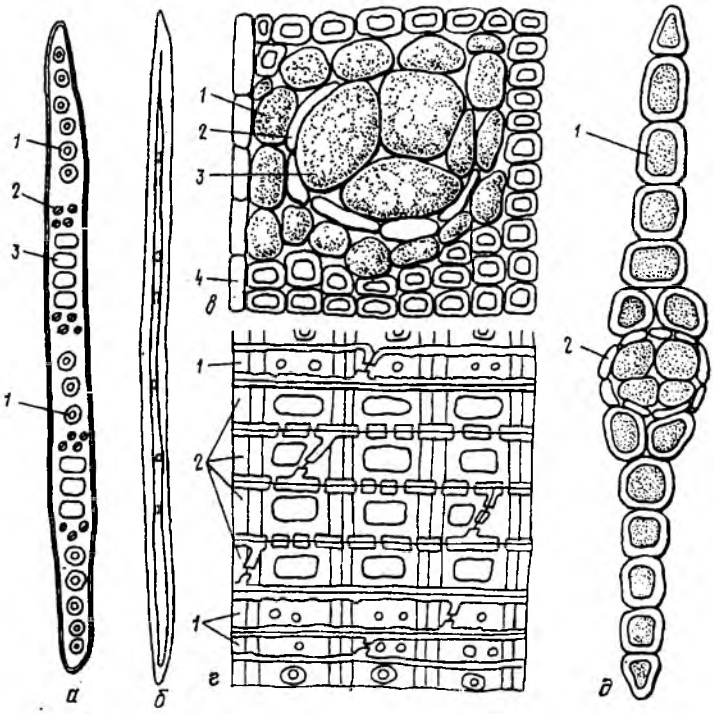


Рис. 14. Анатомические элементы древесины хвойных пород (сосна):
а – ранняя трахеида (радиальный разрез): *1* – крупная окаймленная пора; *2* – мелкая окаймленная пора; *3* – простая (оконцевая) пора в месте контакта с сердцевинными лучами; *б* – поздняя трахеида (радиальный разрез); *в* – смоляной ход (поперечный разрез): *1* – клетка сопровождающей паренхимы; *2* – мертвая пустая клетка; *3* – выстилающая клетка (эпителий); *4* – сердцевинный луч; *г* – сердцевинный луч (радиальный разрез): *1* – лучевая трахеида; *2* – паренхимные клетки; *д* – сердцевинный луч с горизонтальным смоляным ходом (тангенциальный разрез): *1* – сердцевинный луч; *2* – горизонтальный смоляной ход

Паренхимные клетки. Эти клетки в древесине хвойных пород входят главным образом в состав сердцевинных лучей (лучевая древесинная паренхима), а также сопровождают смоляные ходы и представлены осевой древесинной паренхимой.

Сердцевинные лучи у хвойных пород занимают 5 – 10 % общего объема древесины, причем верхний предел этого диапазона относится к древесине лиственницы, сбрасывающей зимой хвою. На поперечном разрезе сердцевинные лучи состоят из одного ряда паренхимных клеток. На радиальном разрезе сердцевинные лучи по высоте состоят из нескольких рядов паренхимных клеток с простыми порами.

У лиственницы, сосны, кедра и ели сердцевинные лучи неоднородны: по верхнему и нижнему краям их располагаются горизонтальные (лучевые) трахеиды с мелкими окаймленными порами (рис. 14, *г*). Лучевые трахеиды некоторых пород отличаются характерными утолщениями стенок. Горизонтальные, также как и вертикальные, трахеиды в растущем дереве являются мертвыми элементами. У пихты, можжевельника и тиса лучи однородные, состоящие только из паренхимных клеток.

Паренхимные клетки сердцевинных лучей сосны имеют по одной, а кедра – по две крупные простые (оконцевые) поры. Соответствующее количество пор по ширине трахеид обнаруживается в поле перекреста их с сердцевинными лучами (рис. 14, *а*). У остальных наших хвойных пород в поле перекреста находится по 3 – 6 мелких простых пор. У сосны, кедра, лиственницы и ели часто встречаются сердцевинные лучи, которые на тангенциальном разрезе в средней части имеют не одну, а несколько паренхимных клеток по ширине. В таких сердцевинных лучах проходят горизонтальные смоляные ходы (рис. 14, *д*).

Сердцевинные лучи в растущем дереве не только хранят запасные питательные вещества в период покоя, но и проводят растворы веществ в горизонтальном направлении в период вегетации. Н.Н. Киселев и А.Д. Тарабрин (МЛТИ), используя метод меченых атомов, показали, что по сердцевинным лучам проходит вода с растворенным фосфорнокислым натрием. Однако позднее в опытах Г.Б. Кедрова (МГУ) с пихтой, можжевельником и туей было установлено, что горизонтальный ток жидкостей осуществляется по радиальной системе проводящих путей через окаймленные поры вертикальных трахеид.

Смоляные ходы, как уже отмечалось, из наших хвойных пород имеют сосна, кедр, лиственница и ель. Они образуют единую смоло носную систему, состоящую из пересекающихся вертикальных и горизонтальных ходов. Эти межклеточные ходы включают три или два слоя клеток. У вертикальных ходов внутренний слой представляет собой клетки эпителия, выделяющие смолу. За этими клетками, выстилающими полость хода, следует слой пустых мертвых клеток, а снаружи находится слой живых клеток сопровождающей паренхимы (рис. 14, *в*). Горизонтальные ходы проходят в сердцевинных лучах и поэтому состоят только из клеток эпителия и слоя мертвых клеток. Клетки эпителия имеют

тонкие оболочки и выглядят как пузыри, вдающиеся в канал хода. Когда ход заполнен смолой, выстилающие клетки вследствие большого давления сплющиваются и прижимаются к стенкам канала.

Размер полости вертикального хода в тангенциальном направлении соответствует примерно четырем трахеидам. В поперечном сечении хода находится от 4 до 12 клеток эпителия. В сосне и кедре – более крупные клетки эпителия. У горизонтальных ходов, диаметр которых в 2,5 – 3 раза меньше, чем вертикальных, и более мелкие клетки эпителия. Длина клеток эпителия несколько превышает их поперечные размеры. Мертвые клетки – узкие и длинные, а клетки сопровождающей паренхимы в несколько раз длиннее мертвых и значительно шире их.

Иногда встречаются ходы травматического происхождения; они могут появиться даже у пород, в древесине которых обычно нет смоляных ходов (например, у пихты). Травматические смоляные ходы крупнее, но короче нормальных.

Осевая древесинная паренхима наблюдается в очень небольшом количестве у всех хвойных пород (кроме сосны и тиса) в виде одиночных клеток или вытянутых вдоль оси ствола тяжей паренхимных клеток. На продольных разрезах клетки древесной паренхимы имеют прямоугольную форму, длина их в 3 – 4 раза больше ширины.

Строение древесины лиственных пород. Древесина лиственных пород в отличие от хвойных пород состоит из бóльшего набора основных анатомических элементов и их переходных форм, расположенных менее упорядоченно.

На рис. 15 показана объемная схема мезоструктуры древесины типичной кольцесосудистой породы (дуб), а на рис. 17 – рассеяннососудистой (береза). Проводящую функцию у лиственных пород выполняют сосуды и трахеиды (сосудистые, а также волокнистые), механическую – волокна либриформа и (или) волокнистые трахеиды, запасающую – паренхимные клетки.

Сосуды. Эти специализированные водопроводящие анатомические элементы занимают довольно большую часть объема ствола, у разных пород она колеблется в пределах 10 –55 %. Сосуды (рис. 16) представляют собой длинные вертикальные трубки, состоящие из члеников – отдельных коротких клеток с широкими полостями и тонкими стенками.

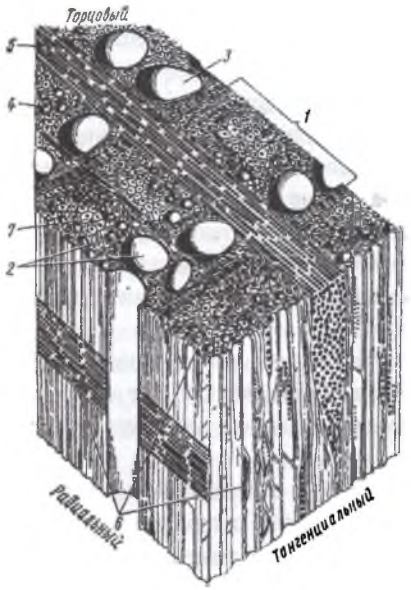


Рис. 15. Схема микроскопического строения древесины дуба (по В.Е. Вихрову):
1 – годичный слой; *2* – сосуды; *3* – крупный сосуд ранней зоны; *4* – мелкий сосуд поздней зоны; *5* – широкий сердцевинный луч; *6* – узкие сердцевинные лучи; *7* – либриформ

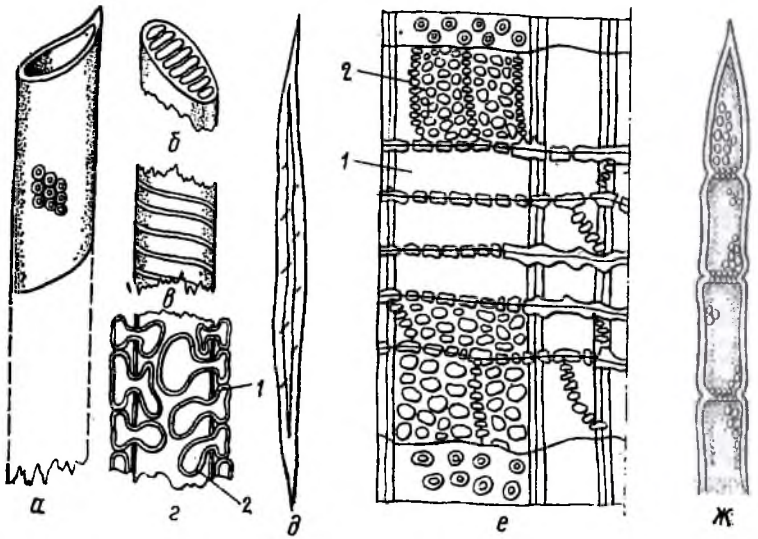


Рис. 16. Основные анатомические элементы древесины лиственных пород:
а – сосуд из члеников с простой перфорацией, коротким клювиком и очередной поровостью; *б* – лестничная перфорация; *в* – спиральное утолщение; *г* – тиллы в сосудах; *1* – стенки сосуда; *2* – тиллы; *д* – волокно либриформа; *е* –неоднородный сердцевинный луч (ива) с лежачими *1* и стоячими *2* паренхимными клетками; *ж* – часть тяжа древесной паренхимы

О размерах члеников в ранних и поздних зонах дают представление данные [55], приведенные в табл. 4.

4. Размеры члеников сосудов в ранней и поздней зонах годичного слоя древесины некоторых кольцесосудистых пород

Порода	Диаметр сосуда, мкм		Длина члеников, мм	
	Зоны годичного слоя			
	ранняя	поздняя	ранняя	поздняя
Дуб летний	200 – 400	30 – 40	0,39	0,56
Ясень обыкновенный	200 – 250	30	0,23	0,27
Вяз	200 – 250	30	–	–
Ильм	–	–	0,24	0,34
Каштан съедобный	300 – 350	16 – 30	0,36	0,58

Нижние и верхние или кососрезанные боковые стенки этих клеток частично или полностью разрушаются. При этом образуются простые (одно или два округлых отверстия) или лестничные (ряд щелевидных отверстий) перфорации.

В крупных сосудах, состоящих из коротких цилиндрических или бочкообразных члеников, перфорации простые, расположены на поперечных стенках. У мелких сосудов с длинными члениками перфорации обычно размещаются на боковых стенках и бывают лестничными.

Для большинства пород характерно наличие простых перфораций, у некоторых пород (береза, ольха, самшит) – только лестничных. Сосуды бука и платана имеют перфорации обоих типов. Часто членики сосудов оканчиваются более или менее длинными замкнутыми придатками – клювиками (рис. 16, *а*). Стенки сосудов у некоторых пород (липа, клен) имеют спиральные утолщения (рис. 16, *в*). У большинства пород таких утолщений или вовсе нет, или наблюдается слабая спиральная штриховатость [19].

Окаймленные поры, которые также имеются на стенках сосудов, располагаются в определенном порядке. Чаще всего они образуют (рис. 16, *а*) диагональные ряды (очередная поровость), реже – короткие горизонтальные ряды (супротивная поровость). Окаймленные поры у сосудов отличаются от пор у трахеид хвойных пород меньшими размерами и отсутствием торуса. Между собой сосуды сообщаются через окаймленные поры, а с примыкающими паренхимными клетками – через полуокаймленные поры (окаймление только со стороны сосуда).

Сосуды в стволе отклоняются от вертикали в тангенциальном и отчасти в радиальном направлениях. Благодаря концевым и промежуточным контактам сосудов создается единая пространственно разветвленная водопроводящая система. Из этой системы выключаются сосуды, в которые через окаймленные поры вдаются выросты горизонтально расположенных паренхимных клеток – тилы (рис. 16, *г*). Эти мешковидные образования с одревеснев шими оболочками обычно закупоривают сосуды в процессе

формирования ядра. У наших пород тиллы встречаются в ядре акации, грецкого ореха, дуба, ясеня. Тиллы могут появиться и в заболони при резком снижении влажности в сосудах вследствие различия давлений в паренхимных клетках и сосудах, деятельности грибов и вирусной инфекции.

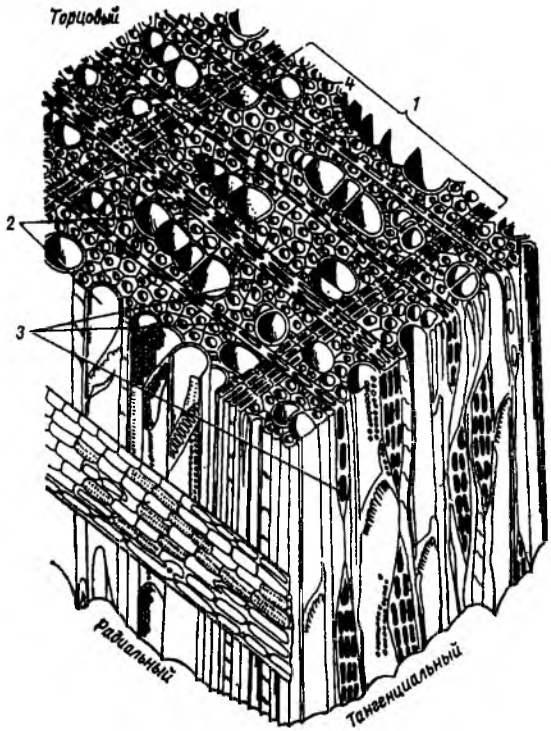


Рис. 17. Схема микроскопического строения древесины березы (по В.Е. Вихрову):
1 – годичный слой; *2* – сосуды; *3* – сердцевинные лучи; *4* – волокнистые трахеиды

Сосудистые трахеиды. Эти элементы являются переходной формой между типичными трахеидами и сосудами. По своей форме, размерам, расположению пор и наличию у некоторых пород спиральных утолщений они напоминают членики мелких сосудов. Сосудистых трахеид в стволе сравнительно мало, и при определении объема, занимаемого водопроводящими элементами, их учитывают вместе с сосудами.

Волокна либриформа. Основная механическая ткань – либриформ у многих лиственных пород занимает наибольшую часть объема древесины ствола, ее содержание у разных пород колеблется в пределах 35 – 75 %. Волокна либриформа (от латинского "либри" – лыко и "форма" – вид) представляют собой типичные прозенхимные, то есть вытянутые клетки с заостренными концами, узкими полостями и мощными стенками, снабженными простыми щелевидными порами (рис. 16, *д*). Поры расположены под углом к длинной оси, количество их невелико. Окончания волокон могут быть гладкими, зазубренными или разветвленными.

На поперечном разрезе у большинства пород по внешней границе годичного слоя располагается узкая полоска из двух-трех рядов радиально сжатых толстостенных волокон либроформа. Благодаря этой полоске годичные слои хорошо различаются.

Волокнистые трахеиды. Эти элементы, так же как волокна либриформа, имеют толстые стенки и малые полости; однако поры у волокнистых трахеид окаймленные.

Размеры древесинных волокон (либриформа и волокнистых трахеид) по данным [74, 22, 39] приведены в табл. 5.

5. Размеры древесинных волокон некоторых пород

Породы	Диаметр, мкм	Толщина стенок, мкм	Длина, мм
Дуб	15	5,0	1,00
Ясень	12	2,4	0,96
Акация белая	11	3,4	0,87
Береза	14 – 40	1,9 – 3,0	0,31 – 1,60
Тополь	17 – 44	2,0	0,70 – 1,60
Осина	20 – 44	1,5 – 1,7	0,55 – 1,60

Иногда у лиственных пород встречаются так называемые "желатинизированные волокна". В этих волокнах желатинизированный слой с очень малым содержанием лигнина добавляется к внутреннему слою S_3 клеточной стенки или может полностью заменять его (а иногда и два слоя – S_2 и S_3).

Паренхимные клетки. У отечественных лиственных пород, сбрасывающих на зиму листву, объем хранилищ запасных веществ (паренхимных клеток) больше, чем у хвойных. Паренхимные клетки занимают 8 – 40 % объема древесины ствола. Они образуют единую систему из горизонтально ориентированных клеток (сердцевинные лучи) и вертикально ориентированных клеток (осевая древесинная паренхима).

Сердцевинные лучи объединяют основную часть паренхимных клеток. Объем сердцевинных лучей у некоторых пород, например у дуба, может составлять 28–32 % общего объема древесины ствола.

По ширине сердцевинные лучи могут быть одно- и многорядными. Лучи первого типа содержат осина, ива, тополь, каштан и др. Лучи второго типа характерны для обширной группы пород. Несколько пород имеют по 12 и более рядов паренхимных клеток: например, бук и платан (12–16 рядов), дуб (30 рядов).

У некоторых лиственных пород (граб, ольха, лещина), как уже отмечалось, имеются ложноширокие (агрегатные) сердцевинные лучи, состоящие из близко расположенных друг к другу узких лучей. Породы с широкими и агрегатными сердцевинными лучами содержат также и узкие лучи.

По высоте сердцевинные лучи также отличаются большим разнообразием. Они могут содержать от нескольких (например, у ивы) до более сотни рядов клеток по высоте (например, у бука). У одной и той же породы могут быть и низкие, и высокие сердцевинные лучи.

Сечение сердцевинных лучей, которое можно наблюдать на тангенциальном разрезе древесины, имеет вид четок – вертикальной цепочки клеток, если лучи однорядные по ширине, и вид веретена – у многорядных по ширине лучей.

На радиальных срезах древесины у многих пород паренхимные клетки сердцевинных лучей – "лежачие". У отдельных пород клетки нижнего и верхнего рядов – "стоячие" (рис. 16, *е*) или квадратные.

В сердцевинных лучах тропических и некоторых наших пород (фисташка) располагаются камедные ходы, содержащие водорастворимые полисахариды и другие вещества.

Осевая древесинная паренхима, хотя и занимает значительно меньший объем, чем сердцевинные лучи, но у некоторых наших пород на ее долю приходится несколько процентов от общего объема древесины. Чаще встречаются так называемые тяжи древесинной паренхимы (рис. 16, *ж*), представляющие собой вертикальный ряд клеток, заполненных содержимым. Другой тип древесной паренхимы – веретеновидная паренхима встречается реже (береза, липа, карагач). Веретеновидные паренхимные клетки обычно пустые, поэтому их труднее обнаружить.

На поперечном разрезе распределение древесной паренхимы различно. У одних пород оно не связано с расположением сосудов (например, у клена, самшита, березы, бука), у других (например, у ясеня, бархатного дерева) паренхима группируется вблизи сосудов.

По особенностям микроскопического строения можно более точно, чем по внешним признакам, определить породу. Для этой цели можно использовать определитель А.Ф. Гаммермана и др. (1946); монографии В.Е. Вихрова [19], А.А. Яценко-Хмелевского [89], Е.С. Чавчавадзе [80]; атлас, содержащий материалы В.Е. Москалевой, З.Е. Брянцевой и других авторов (1976); атлас [4].

Строение древесины корней. Ткани ствола постепенно переходят в ткани корня. Строение древесины крупных корней имеет много общего со строением древесины ствола.

У хвойных пород основная масса древесины корней состоит также из ранних и поздних трахеид. Здесь также представлены сердцевинные лучи, древесная паренхима, имеются смоляные ходы. Однако корни не имеют сердцевины, в центре расположена первичная древесина с одним или несколькими смоляными ходами. В корнях обычно не образуется ядро. Граница между годичными слоями менее заметна, чем в стволе. Переход от ранней к поздней древесине в пределах каждого слоя более плавный из-за отсутствия резких сезонных колебаний температуры и влажности среды (почва).

Трахеиды во вторичной древесине корня, также как в древесине ствола, располагаются правильными радиальными рядами. Однако по данным В.Е. Вихрова и Л.В. Костаревой трахеиды имеют бóльшую длину, крупные полости и тонкие стенки, снабженные окаймленными порами, которые располагаются не только в один, но и в два, а иногда и в три ряда (сосна, ель, пихта, лиственница). Окаймленные поры часто встречаются и

на тангенциальных стенках поздних и ранних трахеид (за исключение можжевельника).

Сердцевинные лучи в древесине корней более широкие и расположены гуще, чем в древесине ствола. В корнях ели, лиственницы и сосны встречаются сердцевинные лучи без горизонтальных трахеид. У пихты сердцевинные лучи имеют краевые паренхимые клетки, сильно вытянутые вдоль луча, с дугообразными внешними стенками. Смоляные ходы в древесине корней окружены большим количеством клеток сопровождающей паренхимы, образующих сплошные пояса или односторонние скопления. Древесина корней имеет меньшие плотность и прочность, чем древесина ствола.

У лиственных пород в древесине корней сильно развиты сосуды. По исследованиям В.Е. Вихрова и С.А. Туманян в крупных боковых корнях дуба нет ядра, древесина рассеянно-сосудистая, годичные слои узкие и плохо заметные, разницы между ранней и поздней древесиной нет. В древесине корней дуба содержится большое количество древесной паренхимы, клетки которой крупнее, чем у ствола. В центральной части корней сердцевины, состоящей только из паренхимных клеток, нет.

Исследования Л.А. Лебеденко показали, что у других пород этого семейства (бука, каштана) также наблюдаются заметные различия между строением древесины корней и ствола. В то же время у березы и ольхи древесина корней мало отличается по строению от древесины ствола.

§ 6. Микроскопическое строение сердцевины и коры

Микроскопическое строение всех частей ствола удобно представить, рассматривая поперечный разрез стебля побега (рис. 18). Расположенная в центре сердцевина состоит из паренхимных клеток округлой или многогранной формы с крупными полостями и тонкими стенками, имеющими большие простые поры. Вокруг сердцевины располагается образовавшаяся в первый год жизни побега первичная древесина, состоящая из мелких, плотно соединенных толстостенных клеток. Сердцевину вместе с окружающей ее первичной древесиной иногда называют сердцевинной трубкой.

Вторичная древесина, микростроение которой было рассмотрено выше, – продукт деятельности камбия, который откладывает не только клетки древесины (ксилемы), но и клетки луба (флоэмы). Луб представляет собой внутреннюю часть коры. Снаружи луб охватывает первичная кора, состоящая из крупных паренхимных клеток, среди которых расположены вертикальные смоляные ходы. Обычно стебель побега одет перидермой (от греческих "пери" – около и "дерма" – кожа). Эта покровная ткань, сменившая тонкую кожицу, включает в себя пробковый камбий, отделяющий по направлению к поверхности стебля пробковые клетки, а вовнутрь (иногда) – паренхимные клетки. Во взрослом дереве ко-

ра имеет две четко выделяющиеся зоны: луб и корку. Л у б , так же как и образованная камбием древесина, включает в себя анатомические элементы, выполняющие проводящую, механическую и запасающую функции.

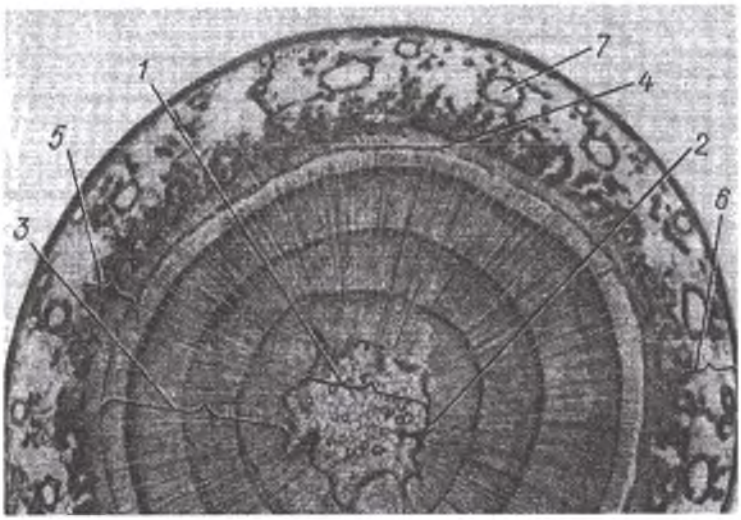


Рис. 18. Строение стебля четырехлетнего побега сосны на поперечном разрезе, ув. 21× [по 99]:
1 – сердцевина; *2* – первичная древесина; *3* – вторичная древесина; *4* – положение камбия; *5* – флоэма; *6* – первичная кора; *7* – смоляные ходы

Проводящую функцию в лубе выполняют с и т о в и д н ы е анатомические элементы. Ситовидные клетки характерны для луба хвойных пород; это узкие длинные клетки со скошенными концами, напоминающие трахеиды. На концах и боковых стенках расположены в виде эллипсов похожие на сита участки с многочисленными мелкими отверстиями. Ситовидные клетки смыкаются друг с другом по концам "внахлестку", образуя продольные ряды. Ситовидные трубки, представляющие собой проводящую ткань луба лиственных пород, напоминают сосуды. Членики ситовидных трубок отделены поперечными (иногда несколько наклонными) перегородками с множеством мелких отверстий, равномерно распределенных или собранных в группы. К ситовидным трубкам сбоку примыкают паренхимные клетки-спутницы. Ситовидные клетки и трубки в отличие от трахеид и сосудов древесины имеют нелигнифицированные целлюлозные оболочки и живой протопласт. Ситовидные элементы функционируют у большинства пород в течение одного сезона, а затем отмирают.

Ширина ситовидных клеток сосны (по данным И.С. Гелеса) 29 – 50 мкм, длина 2,5–5,9 мкм. Диаметр ситовидных трубок 20–30 мкм, длина члеников – несколько десятых миллиметра.

Отмершие ситовидные элементы сдавливаются окружающими тканями иногда до полного исчезновения полостей. На рис. 19 видно, что ситовидные клетки сохраняют свою форму только в зоне (a^1) луба, примыкающей к камбию; в остальной, непроводящей, зоне *а* они смяты. Зона проводящего луба весьма мала, ее ширина составляет у разных пород 0,2 – 1,0 мм. Ситовидные элементы занимают 25–50 % площади проводящего луба [99].

Механическую функцию в лубе выполняют лубяные волокна и каменистые клетки. Лубяные волокна предохраняют от сдавливания расположенные среди них ситовидные элементы. Они похожи на волокна либриформа, также имеют толстые одревесневшие стенки с простыми порами и очень малые полости. У хвойных пород лубяных волокон сравнительно мало, а у сосны их вообще нет. Много лубяных волокон у липы, тополя, ивы и некоторых других лиственных пород. Лубяные волокна липы, толщина которых 0,03–0,25 мм, а длина 0,88–1,26 мм, образуют переплетающиеся между собой тяжи, охватывающие ствол в виде сетки.

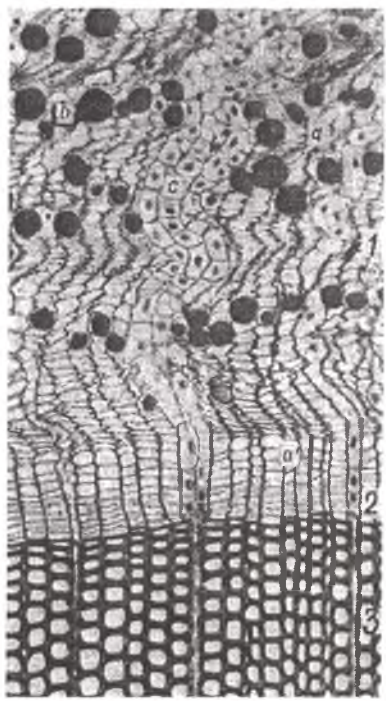


Рис. 19. Поперечный разрез луба сосны. Ув. 100× [по 99]:
1 – луб; *2* – камбий; *3* – древесина; *а* – непроводящая часть луба (ситовидные клетки сдавлены); *а′* – проводящая часть луба; *б* – группа паренхимных клеток; *с* – лубяной луч

Каменистые клетки, имеющие вид многогранников, значительно короче, но обычно шире лубяных волокон, иногда они имеют ветвистую форму (у пихты). Свое название они получили за твердость стенок, которые сильно утолщены и пропитаны лигнином. Многочисленные поры в стенках – простые.

У некоторых пород механические функции в лубе выполняют одни каменистые клетки (ель, лиственница, пихта, береза, бук, платан), у других пород они помогают в этой роли лубяным волокнам (дуб, ива, ольха, клен, ясень).

Запасающую функцию в лубе выполняют паренхимные клетки, которые, как и в древесине, образуют две системы – горизонтальную (лубяные лучи) и вертикальную (лубяную паренхиму). Лубяные лучи, пересекающие луб в радиальном направ-

лении, являются продолжением сердцевинных лучей. Иногда, например у сосны, встречаются разнородные лубяные лучи, состоящие из вытянутых по их длине (лежачих) и по высоте (стоячих) паренхимных клеток. Лежачие клетки расположены в середине луча, а стоячие – по краям (рис. 20). Клетки лубяных лучей обычно имеют неодревесневшие стенки. По мере удаления от камбия ширина лубяных лучей увеличивается, что хорошо видно на поперечном разрезе луба липы (рис. 21). Лучи у хвойных пород в непроводящей зоне изгибаются (рис. 19). Некоторые из лучей пронизывают весь луб, другие, также начинаясь от камбия, до корки не доходят.

Лубяная паренхима может быть представлена веретеновидными клетками или тяжами. В определенное время года они накапливают крахмал; особенно заметными они становятся, когда содержат смолы или дубильные вещества (рис. 19). У некоторых пород (сосна) они располагаются отдельными группами, у других пород (липа) они вместе с ситовидными трубками образуют тангенциальные прослойки (на поперечном разрезе). Чередование этих прослоек с лентами волокон можно обнаружить в пламевидных участках луба, находящихся между лучами на поперечном разрезе коры липы (рис. 21). Стенки клеток лубяной паренхимы обычно не древеснеют. В лубе хвойных пород могут встречаться смоляные ходы.

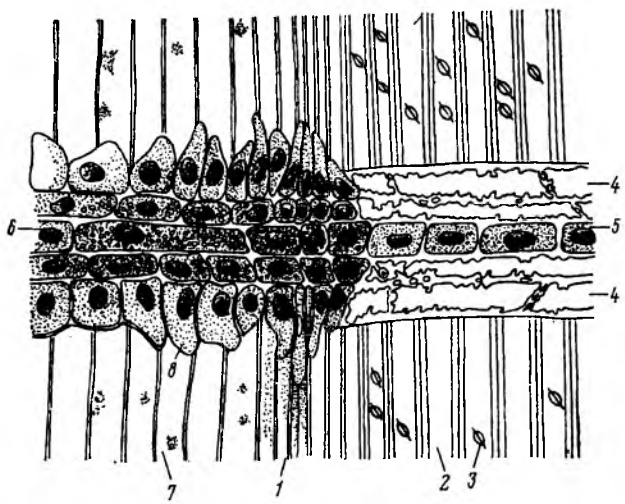


Рис. 20. Радиальный разрез ствола сосны у границы луба (слева) и древесины (справа) [по 56]:

1 – камбий; *2* – трахеида; *3* – окаймленная пора; *4* – горизонтальные трахеиды; *5* – паренхимная клетка сердцевинного луча; *6* – лежачая паренхимная клетка лубяного луча; *7* – ситовидная клетка; *8* – стоячая паренхимная клетка лубяного луча



Рис. 21. Поперечный разрез коры липы. Ув. 12× [по 99]:
1 – корка; *2* – луб с расширяющимися лучами; *3* – камбий; *4* – древесина

Корка содержит прослойки перидермы и участки заключенного между ними отмершего луба. Основная масса перидермы состоит из пробковых клеток.

Пробковые клетки имеют форму многогранников (в основном четырнадцатигранников), несколько вытянутых вдоль оси стебля и сплюснутых в радиальном направлении. Они располагаются радиальными рядами, очень плотно (без межклетников), и вскоре после образования отмирают. Это связано с отложением в их стенках суберина. Суберин образует аморфного строения накладывается на первичную целлюлозную оболочку, имеющую фибриллярную структуру. Прослойки суберина чередуются с прослойками воска, который и обеспечивает главным образом непроницаемость клеточных стенок (они не имеют пор) для воды и газов. Тонкостенные пробковые клетки, заполненные воздухом, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами. Защитные функции корки в растущем дереве обусловлены в основном присутствием в ней пробковых клеток.

У некоторых пород (береза, бук) корка представлена только перидермой. Такие породы отличаются гладкой поверхностью коры. Газообмен между окружающей средой и внутренними частями ствола осуществляется через находящиеся в перидерме чечевички – структурные образования с неплотно расположенными клетками. Чечевички в виде темных узких поперечных полосок длиной 10 – 15 см хорошо видны на белой поверхности стволов березы.

У большинства пород, начиная с определенного возраста, пробковый камбий закладывается в глубине коры и образует слои перидермы.

В изолированные перидермой участки луба не могут поступать растворы питательных веществ, и они отмирают. Постепенно образуется корка, включающая целый комплекс отмерших тканей. На рис. 21 можно видеть корку липы с четырьмя прослойками перидермы.

Одновременно с ежегодным приращением корки изнутри происходит отпад наружных ее слоев обычно в виде чешуек. Однако на старых стволах у сосны и других пород, начиная с комлевой части, образуется толстый слой корки, изрезанный трещинами, размеры и количество которых постепенно увеличиваются. Толстый слой корки предохраняет ствол от обгорания при лесных пожарах. Особенно толстая корка у пробкового дуба и бархатного дерева. Корку этих деревьев (пробковое корье) периодически срезают и используют для технических целей.

ГЛАВА 3. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ

§ 7. Химический состав древесины и коры

Древесина состоит в основном из органических веществ, на долю которых приходится не менее 99 % общей массы. Элементный химический состав древесины всех пород практически одинаков.

Органическая часть абсолютно сухой древесины содержит в среднем 49–50 % углерода, 43–44 % кислорода, около 6 % водорода и 0,1–0,3 % азота.

При сжигании древесины остается ее неорганическая часть – зола (0,1 – 1,0 %). В состав золы входят кальций, калий, натрий, магний, в меньших количествах фосфор, сера и другие элементы. Они образуют минеральные вещества, бóльшая часть которых (75–90 %) нерастворима в воде. Среди растворимых веществ преобладают соли щелочных металлов – карбонаты калия и натрия, а из нерастворимых – соли кальция.

Схематически состав древесины можно представить в следующем виде:



Целлюлоза, лигнин и гемицеллюлозы, как уже отмечалось в гл. 2, – основные составляющие клеточных стенок древесины. Характер связей между ними весьма разнообразен – от слабых межмолекулярных до сильных – химических.

Представление о химическом составе древесины дают некоторые данные [по 53, 1], приведенные в табл. 6.

6. Химический состав древесины некоторых пород, %

Компоненты	Сосна	Ель	Пихта	Кедр	Лиственница	Осина	Береза	Дуб
Целлюлоза	40-49	42-51	41	39	34-36	42-52	35-45	37
Пентозаны	5,9-11	5,1-11	5,2	7,7	5,2-8,8	17-24	20-25	19
Гексозаны*	22,8-23	12-12,5	11,3	16	19,2-22,6	2,6-4,5	4,8-5,0	2-3,7
Уроновые кислоты	2,6-4,0	2,1-4,1	3,8	4,0	2,9-3,9	3,9-8,0	4,1-5,8	4,7-5,1
Лигнин**	25-29	26-29	30	24	25-27	17-22	19-22	22
Вещества, экстрагируемые диэтиловым эфиром	1,8-4,6	0,9-2,5	0,7	3,4	1,1	0,9-1,8	1,0-2,5	3,0
горячей водой	2,1-4,6	1,5-2,8	3,4	3,6	12-23	1,8-2,8	1,4-4,2	1,8-7
Зола	0,2-0,4	0,2-0,4	0,5	0,18	0,1-0,3	0,3-0,4	0,2-0,5	0,4

* Ориентировочные данные

** Кислотонерастворимый (растворимый составляет у хвойных пород 0,5 – 1,0 %, а у лиственных – 2,5 – 7%)

Древесина хвойных пород отличается от лиственных несколько большим содержанием лигнина и, особенно, гексозанов. У древесины лиственных пород среди гемицеллюлоз преобладают пентозаны. Только в составе экстрактивных веществ хвойной древесины содержатся смоляные кислоты.

В ранней зоне годичного слоя целлюлозы меньше, чем в поздней. Целлюлозы, лигнина и экстрактивных веществ в заболони хвойных пород меньше, чем в ядре. У некоторых лиственных пород (ясень, дуб) содержание целлюлозы в ядре несколько больше, чем в заболони.

В древесине ветвей содержание целлюлозы на 3–10 % меньше, чем в стволе [52]. По данным Л.П. Жеребова у сосновых ветвей в нижней части, испытывающей сжимающие нагрузки, содержание лигнина примерно на 5 % выше, чем в верхней части.

Кора по элементному химическому составу мало отличается от древесины, хотя в ней несколько больше углерода и существенно выше содержание азота. Количество минеральных веществ в коре, особенно в лубе, больше, чем в древесине.

Соотношение между основными органическими веществами в коре также иное, чем в древесине, здесь значительно меньше целлюлозы (особенно в корке). Кроме того, в наружной части коры содержится суберин, которого нет в древесине. Представление о химическом составе коры некоторых пород дают данные И.С. Гелеса, И.П. Дейнеко и др. приведенные в табл. 7 [22, 53].

7. Химический состав коры, %

Компоненты	Сосна		Ель		Береза		Осина	
	корка	луб	корка	луб	корка	луб	корка	луб
Углерод	54,6	49,5	52,7	49,3	62-69	50-52	53,9	50,8
Водород	5,4	6,1	5,6	5,4	7,9-8,7	5,5-5,8	5,8	6,1
Вещества, экстрагируемые последовательно:								
эфиром	5,6	9,0	8,2	5,2	33,6	1,9	10,3	10,1
этанолом	8,8	19,5	17,4	17,5	4,0	10,1	16-24	19-30
горячей водой	4,8	9,1	6,0	7,9	1,7	2,3	4,8	5,6-6,6
горячим раствором КОН*	26	32	33	29	52	24	26	24
Целлюлоза	19,6	24,1	19,1	32,8	5,1	27,3	13-16	17-22
Лигнин	29,6	4,0	12,2	6,6	6,2	19,5	24-30	10-14
Зола	0,9-1,5	2,2-2,3	2,3-2,8	2,6-2,8	0,2-1,5	1,6-2,4	2,3-3,0	3,1-3,4

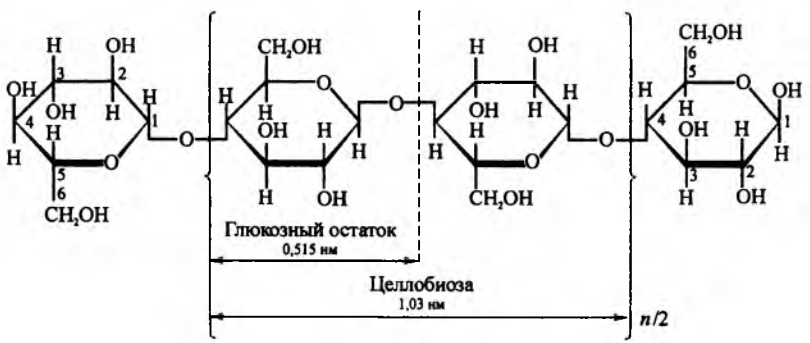
* Сумма веществ выделяемых водным и спиртовым раствором КОН; в водный раствор переходят, в основном, гемицеллюлозы и высокомолекулярные фенольные соединения (кроме лигнина), в спиртовой – продукты омыления суберина.

При рассмотрении таблиц 6 и 7 следует учитывать, что из-за дифференцированного определения отдельных компонентов древесины и коры суммарный состав может отличаться от 100 %.

§ 8. Характеристика органических веществ древесины и коры

Целлюлоза. Это вещество представляет собой линейный, стереорегулярный полимер – полисахарид, который, как и крахмал, имеет формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n – степень полимеризации. Макромолекула целлюлозы имеет вид цепи, состоящей из множества элементарных звеньев – глюкозных остатков. Число этих звеньев, характеризуемое степенью полимеризации, у природной древесной целлюлозы находится в пределах 5000 – 10000, а по некоторым данным может достигать и бóльших значений.

Каждая пара связанных между собой глюкозных остатков образует целлобиозу. Структурная формула целлюлозы имеет вид:



В целлобиозе глюкозные остатки расположены под углом 180°, и первый углеродный атом одного из них связан с четвертым углеродным атомом соседнего звена. Длина одного глюкозного остатка 0,515 нм, а вся макромолекула имеет длину 3 – 5 мкм. Поперечные размеры молекулы целлюлозы, согласно Фрей-Висслингу, 0,4 – 0,8 нм.

Характеризуя строение целлюлозы на молекулярном уровне, отметим, что элементарное звено целлюлозы не плоское; его атомы занимают различное положение по отношению друг к другу, образуя сложную пространственную структуру (конформацию).

Существование различных конформаций отдельных участков цепи целлюлозы, а также межмолекулярное взаимодействие, обусловленное в основном водородными связями, объясняет сложный характер надмолекулярных структур и их многообразие. Рентгенографические исследования показали, что значительная часть целлюлозы обладает упорядоченной (кристаллической) структурой. Отношение кристаллической части целлюлозы к ее общей массе у заболонной древесины может достигать 60 %.

Кристаллическая ячейка целлюлозы, согласно модели Мейера и Миша, состоит из пяти параллельных целлобиозных единиц, организованных в моноклинную систему, и имеет длину 1,03 нм.

Более крупные целлюлозные образования (элементарные фибриллы и микрофибриллы) были описаны в гл. 2 при рассмотрении структуры клеточной стенки древесины.

Регулярность строения цепи макромолекулы и значительное внутри- и межмолекулярное взаимодействие проявляются в том, что целлюлоза имеет особые свойства по сравнению с другими линейными полимерами. Так, при нагревании до температуры разложения целлюлоза сохраняет свойства стеклообразного тела, которому свойственны преимущественно упругие деформации. Целлюлоза весьма химически стойкое вещество, она не растворяется в воде и большинстве органических растворителей.

По химической природе целлюлоза представляет собой полиатомный спирт, так как молекула ее содержит группы $-CH_2OH$ и $=CHOH$. Благодаря наличию гидроксилов она вступает в реакцию со щелочными металлами и основаниями. При действии на целлюлозу щелочей одновременно с химической реакцией протекают и физико-химические процессы: набухание, растворение низкомолекулярных фракций и структурные превращения.

Глюкозидные связи между элементарными звеньями в макромолекуле обусловливают малую устойчивость целлюлозы к действию кислот. В присутствии кислот происходит гидролиз целлюлозы с разрушением цепей макромолекул.

Гидроксильные группы, находящиеся в элементарных звеньях макромолекулы, обеспечивают возможность образования таких производных целлюлозы, как ее простые (метилцеллюлоза, этилцеллюлоза и др.) и сложные (нитраты целлюлозы, ацетаты целлюлозы и др.) эфиры.

Целлюлоза сравнительно легко поддается модификации. Путем модификации ее можно превратить в разветвленный или сшитый полимер. Это вещество белого цвета с плотностью порядка 1,52 – 1,54 г/см^3.

Гемицеллюлозы. Этим термином объединяется группа полисахаридов [23], содержащихся в клеточных стенках древесины, но отличающихся от целлюлозы большей гидролизуемостью в кислотах и растворимостью в щелочах.

В указанную группу входят пентозаны и гексозаны, которые в свою очередь делятся на отдельные разновидности полисахаридов (маннаны, ксиланы, галактаны и др.).

Пентозаны $(C_5H_8O_4)_n$ содержат пять атомов углерода в составе элементарного звена. Гексозаны $(C_6H_{10}O_5)_n$, так же как и целлюлоза, имеют шесть атомов углерода в звене. Однако молекулярная масса всех гемицеллюлоз значительно меньше, чем у целлюлозы. Обычно степень полимеризации составляет 150 – 200, но могут быть гемицеллюлозы с еще меньшей степенью полимеризации (до 30).

По последним данным гемицеллюлозы представляют собой не столько так называемые гомополимеры, состоящие из одинаковых элементарных звеньев, сколько сополимеры, включающие разные звенья.

Среди сополимеров известен, например, растворимый в воде арабиногалактан, содержание которого в древесине лиственницы доходит до 25 %.

В древесине могут содержаться также другие смешанные полисахариды, в том числе и продукты взаимодействия полисахаридов с уроновыми веществами. Весь углеводный комплекс древесины (без лигнина) носит название холоцеллюлоза.

Лигнин. Это высокомолекулярное соединение ароматической природы (полифенол) представляет собой полимер нерегулярного строения. Строение лигнина, находящегося в составе клеточных стенок древесины и коры, до сих пор окончательно не установлено. Дело в том, что в процессе выделения из древесины природный лигнин претерпевает необратимые превращения. Лигнин, выделенный разными способами отличается по строению и свойствам. Об этом можно судить хотя бы по цвету выделенного лигнина, который может быть от светло–желтого до темно–коричневого, в то время как природный лигнин, очевидно, соответствует цвету древесины. Наиболее близок к природному так называемый лигнин Бьеркмана. Плотность отдельных видов выделенного лигнина колеблется в пределах 1,25–1,45 г/см^3 [1].

По химическому составу лигнин, выделенный из древесины хвойных и лиственных пород, не одинаков.

В отличие от целлюлозы лигнин имеет ароматическую природу, содержит двойные связи, метоксильные OCH_3 - группы, карбонильные CO - группы и др.

Для лигнина характерна значительная полидисперсность, молекулярные массы выделенных из ели лигнинов колеблются от $1 \cdot 10^3$ до $146 \cdot 10^3$. В лигнине по сравнению с целлюлозой содержится значительно больше углерода (59 – 64 %) и меньше кислорода.

Лигнин химически менее стоек, чем целлюлоза. Это используется для выделения целлюлозы из древесины. Природный лигнин легко окисляется, взаимодействует с хлором, растворяется при нагревании в щелочах, водных растворах сернистой кислоты и ее кислых солей.

По поводу характера связей межу лигнином и углеводами нет единого мнения. Большинство исследователей считает, что существуют химические лигноуглеводные связи. Однако окончательно этот вопрос не решен, поскольку, очевидно, имеются различия в характере связи лигнина в срединной пластинке и вторичной оболочке клеточной стенки. Не ясен так же вопрос о том, весь ли лигнин связан с углеводами и все ли углеводы связаны с лигнином.

Суберин. Это смесь веществ – сложных эфиров алифатических длинноцепочных гидрооксикислот. Суберин находится только в коре и вызывает опробковение клеточных стенок корки.

Экстрактивные вещества. В эту группу входят вещества, которые могут быть извлечены из древесины и коры путем экстракции водой или органическими растворителями.

Водой экстрагируются дубильные и красящие вещества, камеди.

Дубильные вещества, таннины (танниды) – соединения (смесь) представляющие собой многоатомные фенолы. Они используются для выделки кож (дубления) из сырых шкур животных; обладают вяжущим вкусом, осаждают белки и алкалоиды из разбавленных растворов. Разделяются на гидролизуемые и конденсированные. Первые – представляют собой сложные эфиры сахаридов и фенолкарбоновых кислот. Вторые – относятся к флавоноидам; при действии минеральных кислот образуют красно–коричневые продукты конденсации. Дубление придает коже эластичность, мягкость, ненабухаемость в воде, стойкость против гниения.

Камеди представляют собой водорастворимые смолообразные вещества, состоящие в основном из полисахаридов (арабиногалактана и др.). Красящие вещества желтого, коричневого, красного и синего цвета содержатся в полостях клеток древесины (особенно в ядре) и коры.

Органическими растворителями (эфиром, спиртом, ацетоном, бензолом и др.) из древесины могут быть выделены разнообразные по химическому составу вещества: смоляные и жирные кислоты, жиры, воски, стерины и др. Количество экстрагируемых продуктов зависит от породы, вида растворителя и условий экстракции.

Смолы, находящиеся в древесине и коре хвойных пород, содержат в природном состоянии около 40 % терпенов и смоляных кислот. Выделяющаяся при ранении ствола живица по своему составу отличается от

смолы, находящейся в смоловместилищах дерева. Терпены (монотерпены), общая формула которых $C_{10}H_{16}$, являются жидкими веществами. Они составляют основу технического продукта – скипидара. Живица кроме жидкой, легко подвижной и летучей (с водяным паром), части содержит смоляную часть, представляющую собой трудно разделимую смесь смоляных кислот с общей формулой $C_{20}H_{30}O_2$. При уваривании живицы образуется другой технический продукт – канифоль.

Кроме того в древесине хвойных и лиственных пород содержится небольшое количество жирных кислот: олеиновой, линолевой и др.

В нейтральной части экстракта содержатся в основном жиры, а также стерины, представляющие собой биологически активные ненасыщенные спирты. Они выделяются в виде фитостерина – кристаллического продукта, используемого в медицине.

В состав коры ряда пород кроме упомянутых экстрактивных веществ входят алкалоиды (хинин, стрихнин и др.) и витамины (С, B_1, B_2 и др.). Бетулин, содержащийся в бересте березы, используют в медицине и парфюмерной промышленности.

Древесина преимущественно тропических пород содержит ядовитые вещества. При шлифовании и других видах механической обработки такой древесины образующаяся пыль, мелкие опилки могут вызвать отравления, кожные заболевания.

Входящие в состав древесины таннины, смолы и эфирные масла содержат легколетучие вещества, обусловливающие ее запах. Особенно сильным запахом обладают хвойные породы. У некоторых иноземных лиственных пород (сандаловое и камфарное дерево, австралийская акация, анисовое дерево) древесина имеет особо приятный запах. По мере высыхания свежесрубленной древесины запах ослабевает. Изменение запаха часто свидетельствует о начавшемся процессе загнивания древесины от воздействия грибов. Пораженная бактериями древесина также приобретает специфический запах. Так, пораженная анаэробными бактериями ядровая древесина дуба имеет сильный уксусный и прогорклый запах. Такая древесина при обычной камерной сушке растрескивается больше здоровой.

§ 9. Древесина, кора и древесная зелень как химическое сырье

Получение и использование целлюлозных материалов. Глубокая химическая переработка древесины – одно из перспективных направлений развития лесного сектора экономики. Древесина является основным источником целлюлозных волокнистых материалов, используемых для производства бумаги, тканей и других видов продукции. В бумажном производстве различают следующие виды полуфабрикатов: техническая целлюлоза, полуцеллюлоза, древесная масса. В наибольшем объеме выпускают целлюлозу. Ее можно получить, удалив химическим способом из клеточ-

ных стенок древесины все остальные вещества. В процессах варки, воздействуя на древесину различными агентами, растворяют сопровождающие целлюлозу вещества. В промышленности используются кислотные, щелочные и нейтральные способы получения целлюлозы [51].

Кислотные способы. К этой группе относятся сульфитный и бисульфитный способы. Сульфитный способ до недавнего времени имел у нас наибольшее распространение. При этом способе в качестве сырья используется древесина малосмолистых хвойных пород (ели, пихты) и ряда лиственных пород.

Короткие окоренные бревна (балансы), а также отходы лесопиления и лесозаготовок на рубильных машинах перерабатываются в щепу длиной 15–25 мм и толщиной до 5 мм. Отсортированная, однородная по размерам, щепа загружается в вертикальные варочные котлы вместимостью до 400 м^3. В котел подается так называемая сульфитная варочная кислота, представляющая собой раствор сернистой кислоты, содержащий бисульфит натрия или аммония, или магния. Варка ведется при 130–150 °С и давлении 0,5–1 МПа в течение 5–12 ч. Основная задача варки заключается в делигнификации древесины. Во время варки происходит также частичный гидролиз гемицеллюлоз и другие процессы. В результате варки получают целлюлозную массу и перешедшие в раствор остальные органические вещества – сульфитный щелок. Содержимое котла вымывают или выдувают в сцежу или приемный резервуар. Здесь происходит отделение щелока от целлюлозы и ее промывка. Далее целлюлозную массу очищают от непроваренной щепы, песка и других примесей. Для некоторых производств необходима особо чистая целлюлоза, поэтому ее дополнительно облагораживают, обрабатывая раствором NaOH для удаления остатков гемицеллюлоз, лигнина, золы и смолы. Обычно такой процесс облагораживания сочетают с отбеливанием целлюлозы хлорсодержащими агентами. Однако это приводит к образованию высокотоксичных веществ. Поэтому в современных процессах в качестве основных отбеливающих реагентов используют кислород, пероксид водорода и озон. В.М. Никитин и Г.Л. Аким разработали способ отбеливания целлюлозы молекулярным кислородом в щелочной среде. Затем целлюлозную массу обезвоживают и на специальной машине превращают в непрерывную плотную ленту влажностью 8–12 %. Эту ленту разрезают на листы 600×800 мм, упаковывают в пачки и отправляют на другие предприятия (бумажные фабрики и т. д.).

Сульфитный щелок используют для получения белковых кормовых дрожжей, этанола и других продуктов. Химической переработкой из щелока можно получать ванилин, фенолы, ароматические кислоты. Технические лигносульфонаты из щелока, упаренного после биохимической переработки, находят применение в производстве цемента и бетона, при изготовлении литейных форм, стержней и для других целей.

Среди недостатков сульфитного способа, непригодного для варки древесины высокосмолистых пород, – отсутствие достаточной регенерации химикатов из отработанных щелоков, что приводит к загрязнению водоемов; длительность процесса; необходимость кислотостойкого оборудования.

Бисульфитный способ позволяет использовать для получения целлюлозы древесину практически любых пород. Варка щепы проводится в водном растворе бисульфита натрия, магния или аммония. Оборудование и технология во многом схожи с применяемыми при сульфитном способе. Однако температура процесса варки выше (155–165 °С). К числу недостатков относятся: ограниченная возможность биохимической переработки отработанного щелока из-за низкого содержания в них простейших сахаров, а также недостатки, указанные для сульфитного способа.

Щелочные способы. К этой группе относятся сульфатный и натронный способы. Наибольшее распространение получил первый из них. Для получения целлюлозы сульфатным способом может быть использована древесина любых пород, в том числе и высокосмолистых (сосна и др.). Измельченная в щепу древесина варится в растворе, содержащем гидроксид натрия NaOH и в 3 раза меньше сульфида натрия Na_2S. Варка ведется в котлах вместимостью 75–160 $м^3$ при 170–180 °С и давлении 0,7–1,2 МПа в течение 2–5 ч. По окончании процесса варочный раствор приобретает черный цвет и называется черным щелоком. Черный щелок упаривают для компенсации потерь Na_2S, смешивают с сульфатом натрия Na_2SO_4 и прокаливают. При этом органическая часть щелока сгорает (используется как топливо), а минеральная употребляется для приготовления свежего варочного раствора (белого щелока). Остальные операции такие же, как и при получении сульфитной целлюлозы.

Для получения высококачественной целлюлозы, идущей на химическую переработку, древесину подвергают предгидролизу (пропаркой, водной варкой при 170 °С или другим способом) с целью удаления большей части гемицеллюлоз.

Сульфатный способ позволяет получать более прочные волокна, необходимые для производства корда и других целей. К достоинствам этого способа также относится хорошо отлаженная технология регенерации химических реагентов. Это дает возможность проводить процесс по замкнутой схеме, уменьшая загрязнение окружающей среды.

В качестве побочных продуктов при сульфатном производстве целлюлозы улавливают скипидар и снимают с поверхности охлажденного щелока сульфатное мыло, разложение которого минеральной кислотой дает талловое масло. Из него получают канифоль (см. ниже) и другие продукты, используемые в медицине, лакокрасочной, горнодобывающей и других отраслях промышленности. Часть щелочного лигнина так же может найти промышленное использование.

Второй щелочной способ получения целлюлозы – натронный основан на применении в качестве реагента гидроксида натрия; потери щелочи возмещаются добавкой соды. Этот способ находит сравнительно небольшое применение, главным образом, при переработке древесины лиственных пород.

Нейтральный способ. Этот способ используется, для получения из древесины лиственных пород целлюлозы с весьма большим содержанием сопутствующих веществ. Варочный раствор, содержащий сульфит натрия Na_2SO_3 или сульфит аммония $(NH_4)_2SO_3$ имеет близкую к нейтральной реакцию, и поэтому способ теперь называют моносульфитным или, чаще, нейтрально-сульфитным. Варка проводится в котлах периодического или непрерывного действия при конечной температуре 160–180 °С, давлении 0,65–1,25 МПа и длится 0,2 – 6 ч. Основной недостаток – невозможность использования древесины хвойных пород. Эффективных промышленных способов утилизации моносульфитных щелоков пока не найдено.

Для всех применяемых в промышленности способов получения целлюлозы характерно образование отходов, в той или иной мере загрязняющих окружающую среду соединениями серы. Поэтому особенно важны разработки бессернистой технологии целлюлозы. Например, в последнее время при щелочной варке в качестве агента делигнификации используют антрахинон, получаемый из нефтяного или каменноугольного сырья.

Промышленность выпускает техническую целлюлозу с различной величиной выхода продукта из сырья. Целлюлоза нормального выхода (40–50 % массы сырья) находит широкое применение в бумажном производстве и ряде отраслей химической промышленности. Целлюлоза высокого выхода (50–60 %), содержащая значительную часть лигнина, гемицеллюлоз и другие вещества, получается при сокращенной продолжительности варки и пониженной температуре процесса. Этот продукт используют для производства различных видов картона и бумаг. Полуцеллюлоза – волокнистый полуфабрикат (выход 60–80 %), содержащий еще больше нецеллюлозных веществ; его получают путем неглубокой химической переработки сырья и последующего размола. Полуцеллюлозу используют для выработки тарного и других видов картона, а также низких сортов бумаги.

Значительно больший выход (85 – 98 %) волокнистых полуфабрикатов можно получить в виде древесной массы. По способу измельчения древесины различают дефибрерную древесную массу (ДДМ) и рафинерную древесную массу (РДМ). При первом способе балансы истирают в присутствии воды абразивные поверхности быстро вращающегося камня в дефибрерах, при втором – щепу размалывают в дисковых мельницах. По характеру предварительной обработки различают несколько видов древесной массы. Белая древесная масса из балансов и щепы ели, пихты,

осины, тополя имеет волокна сравнительно малой прочности цвета натуральной древесины. Используется в сочетании с целлюлозой для производства массовых видов бумаг.

Если перед истиранием балансы пропарить, то процесс измельчения облегчается, волокна получаются более прочными, но темного цвета. Такая бурая древесная масса используется для выработки оберточных бумаг и картона.

Предварительная пропарка щепы дает возможность получить термомеханическую древесную массу (ТММ). Химическая обработка щепы, до или вовремя пропарки, позволяет получить химикомеханическую древесную массу (ХММ), которая по прочностным свойствам заметно превосходит другие виды древесных масс.

Многообразное и широкое применение в химической промышленности находят производные целлюлозы. При взаимодействии целлюлозы с 18-20 %–ным раствором гидроксида натрия получают щелочную целлюлозу. После измельчения и предварительного созревания на нее воздействуют сероуглеродом и получают ксантогенат целлюлозы. Путем растворения его в слабом растворе гидроксида натрия получают вязкий раствор – вискозу. После выдержки, многократной фильтрации и удаления воздуха вискозу продавливают через фильеры с мелкими отверстиями в осадительные ванны. В ваннах под воздействием водного раствора серной кислоты и сернокислых солей выделяются пучки тонких волокон гидратцеллюлозы, которые растягивают, скручивают и полученные нити используют для изготовления искусственного шелка. Если отдельные нити объединяют в жгут, который разрезают на короткие отрезки (штапельки), то получают штапельное волокно.

Вискозные кордные нити, отличающиеся высокой прочностью, применяют для изготовления ткани, создающей каркас автомобильных и авиационных шин, транспортерных лент и т. д. Продавливая вискозу через фильеры с отверстиями в виде щели, получают целлофановую пленку. Из вискозы получают и другие неволокнистые материалы.

В результате взаимодействия целлюлозы со смесью азотной и серной кислот получают нитраты целлюлозы. Свойства и области применения этих сложных эфиров целлюлозы зависят от содержания азота, которое может составлять 10–14 %. Растворы нитратов целлюлозы с малым содержанием азота (коллоксилин) применяют для производства нитроклея и других продуктов. Из нитратов целлюлозы с высоким содержанием азота (пироксилина) изготовляют бездымный порох.

Несмотря на высокое качество изделий из вискозы, выпуск ее сокращается из-за высокой токсичности сероуглерода. Поэтому перспективен способ производства волокон типа Лиоцел, которые получают без применения сероуглерода. Тонкие волокна производят из медноаммиа-

ачного раствора облагороженной целлюлозы. Однако ткани из них легко сминаются и истираются.

При взаимодействии целлюлозы с уксусным ангидридом образуются ацетаты целлюлозы. Уксуснокислые эфиры целлюлозы используются в производстве негорючих кино- фотопленок, пластмасс, лаков и ацетатных волокон. Ткани, изготовленные из этих волокон, эластичны, водостойки, не мнутся. Однако они сильно электризуются и мало устойчивы к истиранию.

Путем прививки к целлюлозе других полимеров или химическими превращениями функциональных групп в ее макромолекуле З.А. Роговиным и сотрудниками получены волокна, обладающие повышенной устойчивостью к истиранию, действию света, огня и микроорганизмов.

Из модифицированных целлюлозных волокон изготовляют маслостойкие и водоотталкивающие ткани, ионообменные материалы для улавливания золота, серебра из растворов, ртути из сточных вод и т. д.; антимикробные материалы, кровоостанавливающую марлю и др.

Простые эфиры целлюлозы (этилцеллюлоза, бензилцеллюлоза, метилцеллюлоза и др.) также находят применение в разных отраслях промышленности. Термопластичные материалы на базе простых и сложных эфиров целлюлозы – этролы используются в самолето- и автостроении.

Гидролиз древесины. При взаимодействии водных растворов кислот с древесиной происходит гидролиз ее полисахаридной части [79]. Целлюлоза и гемицеллюлозы при гидролизе превращаются в простые сахара. Эти сахара (например, глюкоза, ксилоза и др.) можно подвергать химической переработке, получая такие продукты, как фурфурол, ксилит, сорбит и др. Однако гидролизная промышленность ориентируется в основном на последующую биохимическую переработку сахаров. Современное гидролизное предприятие включает в себя целый комплекс химических производств, позволяющих утилизировать и побочные продукты. Сырьем для гидролизной промышленности служат главным образом отходы лесопиления и деревообработки, низкокачественная древесина (дрова). Технологические опилки (ГОСТ 18320–78) сразу подвергаются гидролизу. Крупномерные отходы и дрова предварительно измельчаются в технологическую щепу толщиной до 5 мм и длиной 5–35 мм.

В промышленности применяется способ гидролиза разбавленной до 0,5–0,6 % серной кислотой. Сырье в виде смеси опилок и щепы поступает в гидролизаппарат вместимостью 18–160 м^3. Сюда же подается горячий раствор серной кислоты. При 140–160 °С происходит осахаривание (гидролиз) гемицеллюлоз. Затем при 180–190 °С начинается гидролиз целлюлозы. Одновременно с подачей серной кислоты отбирают гидролизат – кислый водный раствор простых сахаров. В конце процесса в гидролизаппарат подается горячая вода для удаления сахаров и серной кислоты, пропитывающих нерастворимый остаток – лигнин.

Нейтрализованный известковым молоком гидролизат (сусло) поступает в бродильное отделение. Там под действием ферментов винокуренных дрожжей содержащиеся в сусле гексозы (глюкоза и сахара из гексозан) сбраживаются и образуют этиловый спирт (этанол), а также углекислый газ, который улавливается и используется для получения жидкой углекислоты и сухого льда.

До последнего времени наиболее крупным потребителем этанола была промышленность синтетического каучука. Однако современные методы производства каучука позволяют обходиться без этанола. Тем не менее потребность в нем как растворителе для различных отраслей промышленности растет. Весьма перспективно использование этанола в качестве антидетонационной добавки и самостоятельного топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Остатки после отгонки спирта (барда) содержат неразложившиеся пентозы, которые, используются для выращивания кормовых дрожжей, богатых витаминами и белком. Введение дрожжей в виде добавки в рацион питания животных и птиц резко сокращает их падеж, повышает сопротивляемость заболеваниям, скорость прироста мяса, удои, жирность молока, качество меха и т. д.

В связи с возросшей потребностью в кормовых дрожжах прежние основные источники питательных сред для их выращивания (барда гидролизных, а также сульфитно-спиртовых заводов целлюлозных предприятий) оказались недостаточными. Поэтому на отдельных предприятиях технологический процесс не предусматривает получения этилового спирта. Весь гидролизат, включающий как гексозы, так и пентозы, используется для выращивания кормовых дрожжей. В дрожжерастильные аппараты подают сусло, в котором растворены минеральные питательные соли, содержащие азот, фосфор, калий, засевные дрожжи чистой культуры, а также воздух для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов. Выращенные дрожжи непрерывно отводятся из аппарата в виде суспензии. После флотации, сепарирования, выпаривания, сушки получают сухой товарный продукт. Дрожжи выпускаются в виде порошка коричневого цвета с содержанием белка не менее 35 %. Они используются также при изготовлении премиксов – смеси биологически активных веществ с наполнителем.

При гидролизе лиственной древесины и другого пентозаносодержащего сырья более концентрированной (10–15 %) серной кислотой получают фурфурол, представляющий собой маслянистую жидкость с запахом печеного хлеба. Он применяется в производстве пластмасс, синтетических волокон (нейлона), смол, для очистки смазочных масел, изготовления медицинских препаратов (фурацилина и др.), красителей, средств для борьбы с сорняками, грибами и насекомыми и для других целей.

Побочный продукт гидролиза – лигнин используется в качестве сорбента в промышленности, медицине, понизителя вязкости бурильных рас-

творов, топлива, для производства удобрений, в качестве наполнителя для резино-технических изделий. Однако пока утилизируется 10 % лигнина.

Кроме традиционного кислотнокатализируемого гидролиза ограниченно применяют автогидролиз (без добавления кислоты) и ферментативный гидролиз. Перспективно применение взрывного автогидролиза (кратковременное воздействие водяного пара при температуре 200–240 °С и последующий мгновенный сброс давления) и, особенно, экологически чистого и малоэнергоемкого ферментативного гидролиза – разложения целлюлозы под действием биологических катализаторов. Этот способ используется для разработки технологии получения топливного этанола.

В Японии находит применение ожижение древесины (преимущественно низкокачественной) и коры. Для этого проводят гидролиз и другие химические процессы разложения древесины, получая смесь веществ, которая используется для производства полимерных материалов.

Термическое разложение древесины и коры. Разложение древесины (и коры) под действием высокой температуры происходит во многих процессах лесохимических производств [68]. Широко известен процесс пиролиза древесины при нагревании ее без доступа воздуха. При ограниченном доступе воздуха происходит ее газификация. Если воздух подается в избыточных количествах совершается сжигание древесины.

Пиролиз древесины и коры. В начале (при температуре $t = 120$–150 °С) происходит потеря воды, затем частичное разложение древесины ($t = 150$–275 °С). Главные реакции распада вещества древесины совершаются при 275–450 °С с бурным выделением тепла. Последняя стадия при 450–550 °С происходит с дополнительным подводом тепла извне. В результате пиролиза образуется уголь, жижка, газы.

Древесный уголь содержит 80–97 % углерода, при сжигании дает вдвое больше тепла, чем древесина, отличается малой зольностью, почти не содержит вредных примесей, обладает высокой сорбционной способностью. Это основной продукт пиролиза. Главные области применения: производство полупроводников (из кристаллического кремния) и сероуглерода; очистка вод и растворов (активированный паром уголь).

Жижка – раствор продуктов разложения древесины; при отстаивании образуются два слоя: верхний – водный и нижний – смоляной. Из отстойной и растворенной в сырой жижке смолы получают антиокислитель бензина, антисептики (креозот) и другие продукты. Из водного слоя жижки выделяют уксусную кислоту, метиловый спирт, ацетон и другие растворители. В последние годы значение жидких продуктов пиролиза снизилось; они используются главным образом в качестве топлива.

Газы, образующиеся при пиролизе древесины, используют в качестве топлива для обогрева реторт – аппаратов пиролиза.

При пиролизе древесины и коры выход основных продуктов зависит от породы, о чем свидетельствуют данные В.Н. Козлова [по 52], представ-

ленные в табл. 8. Кора при сухой перегонке по сравнению с древесиной дает больше смолы, угля и газов, но меньше уксусной кислоты и метилового спирта.

8. Выход основных продуктов при пиролизе древесины и коры

Продукт	Выход, % от массы абс. сух. сырья		Продукт	Выход, % от массы абс. сух. сырья	
	Сосна	Берёза		Сосна	Берёза
Уголь	37,9/42,5	33,0/37,4	Метиловый спирт	0,85/0,31	1,6/0,69
Газы	18,2/19,8	15,3/18,5			
Уксусная кислота	3,1/0,85	6,9/2,55	Смола	7,0/8,4	6,3/14,9

Примечание. В числителе выход при пиролизе древесины, в знаменателе – коры

Технические условия на сырье для пиролиза и углежжения в виде круглых или колотых поленьев регламентированы ГОСТ 24260–80.

Газификация древесины происходит при воздействии воздуха или его смеси с паром. Температура в зоне газификации выше 800 °С. Кроме газообразных получают жидкие продукты (10 %). Основная цель – получение горючих газов; перспективно использование компонентов газовой смеси для получения метана, метанола, бензина и других продуктов.

Эффективные направления термической переработки древесины – ее карбонизация (получение угля), производство жидкого и газообразного топлива.

Сжигание древесины и коры. Качество древесины как топлива оценивается теплотой сгорания. Этот показатель представляет собой количество тепла, выделяющееся при полном сгорании 1 кг древесины. Низшую (без учета тепла, образующегося при конденсации водяных паров) теплоту сгорания, Q кДж/кг можно определить по формуле Д.И. Менделеева, которая применительно к древесине имеет вид:

$$Q_H = 339\,C + 1031\,H - 109\,O - 25\,W_{отн}, \qquad (1)$$

где C, H и O – содержание углерода, водорода и кислорода, %.
$W_{отн}$ – относительная влажность древесины, %.

Вычисленные по указанной формуле значения отличаются от экспериментальных на 5–10 %. Теплота сгорания единицы массы абсолютно сухой древесины почти не зависит от породы, так как элементный химический состав древесины различных пород примерно одинаков. У сухой древесины теплота сгорания составляет в среднем 19 МДж/кг. Для сравнения укажем, что теплота сгорания, МДж/кг*, торфа 16, антрацита 25, мазута 40.

* 1 МДж = 10^6 Дж = 239 ккал

С повышением влажности топлива теплота сгорания снижается, и у свежесрубленной древесины она в 2 и более раза меньше, чем у абсолютно сухой.

Теплота сгорания коры несколько выше, чем у древесины соответствующей породы (18 – 23 МДж/кг). Однако наружная часть коры березы (береста) имеет теплоту сгорания 35 МДж/кг.

Теплота сгорания единицы объема, $м^3$ древесины может быть получена умножением $Q_н$ на плотность древесины. Поскольку плотность древесины у разных пород различна, теплота сгорания единицы объема древесины существенно зависит от породы.

В отличие от каменного угля и нефти древесина при сжигании не образует сернистых соединений, загрязняющих окружающих среду. Требования к качеству дров для отопления отражены в ГОСТ 3243–46.

В последнее время достаточно широко используется древесное топливо с улучшенными потребительскими свойствами – п е л л е т ы . Это измельченная древесина, спрессованная в цилиндрики диаметром 6 – 8 мм, высотой до 20 мм. Теплота сгорания пеллет при $W_{отн}$ ~ 10 % составляет 17 МДж/кг.

Получение и использование экстрактивных веществ из древесины и коры. Прижизненное извлечение с м о л ы (живицы) из древесины хвойных пород достигается путем п о д с о ч к и .

Осенью на очищенном от грубой коры участке поверхности ствола сосны и кедра нарезают вертикальный желобок (рис. 22), а весной через каждые 3–5 дней снимают направленные под углом 30–45 ° к желобку полоски коры и древесины, образуя п о д н о в к и глубиной 5 мм. Рана, наносимая дереву при подсочке носит название к а р р а . Из перерезанных смоляных ходов находящаяся в них под давлением 1–2 МПа живица вытекает в подновки и по желобку направляется в приемник. Сбор живицы из приемника производят 1–2 раза в месяц. Сезон подсочки составляет 4-6 мес. В среднем с одного соснового дерева получают 1,5 кг живицы за сезон. Наиболее смолопродуктивна сосна крымская. Для увеличения выхода живицы применяют химические стимуляторы, которыми смазывают подновки.

В наибольших количествах добывают сосновую живицу, представляющую собой прозрачную смолистую жидкость с характерным скипидарным запахом. На воздухе живица мутнеет, твердеет и превращается в хрупкую белесоватую массу – б а р р а с . Полученная в результате подсочки сосновая живица содержит примерно 75 % канифоли и около 20 % скипидара, остальное составляют вода и механические примеси.

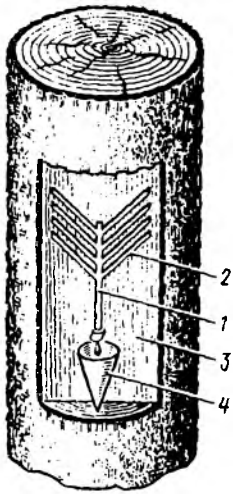


Рис. 22. Схема подсочки сосны:
1 – желобок; *2* – подновки; *3* – карра; *4* – приемник

Кедровой живицы добывается значительно меньше, чем сосновой. Подсочка ели и лиственницы в широких промышленных масштабах пока не ведется. Однако собирают еловую серку – засохшую живицу с пораненных деревьев. Ее используют для извлечения смолистых веществ, применяемых в производстве морозостойкого бетона, а также пенобетонов. Добываемая в небольших количествах лиственничная живица не кристаллизуется при хранении; она используется как сырье для изготовления лучших сортов лаков и красок, для медицинских целей и т. д. Получают живицу и из пихты, но не из древесины, в которой нет смоляных ходов, а из коры. В первичной коре, в месте разрывов смоляных ходов, образуются вздутия. По мере утолщения ствола такие вздутия, самостоятельно разрастаясь, образуют желваки: их прокалывают и выдавливают живицу в переносные приемники. Пихтовая живица (бальзам) имеет близкий к стеклу коэффициент преломления, дает совершенно прозрачную пленку и применяется в оптической промышленности, микроскопии и т. д.

Живицу можно рассматривать как раствор твердых смоляных кислот в жидком терпентинном масле. При переработке живицы на канифольно-терпентинных заводах происходит отгонка с водяным паром летучей части – *скипидара* и уваривание *канифоли*.

Скипидар и канифоль можно получать путем экстракционной переработки спелого *пнёвого осмола* (ОСТ 13–131–82), ядровой части сосновых пней с повышенным относительным содержанием смолы за счет отгнивания, в течение 8–15 лет и более, малосмолистой заболони. В некоторых случаях целесообразно использование свежего пнёвого осмола, заготавливаемого одновременно с рубкой деревьев или через 1–2 года. В качестве сырья применяют также и *стволовой осмол* – древесину стволов сосновых деревьев, сильно просмоленную в результате проведения особого вида подсочки.

В качестве растворителя при извлечении смолистых веществ используют чаще всего бензин. Полученный экстракт подвергают разгонке. Растворитель и скипидар отгоняют, а канифоль остается. Экстракционные продукты уступают по качеству скипидару и канифоли, полученным из живицы. Из экстракционного скипидара получают сосновое флотационное масло для обогащения руд.

Скипидар находит широкое применение как растворитель в лакокрасочной промышленности, для производства камфары, душистых и биоло-

гически активных веществ. Камфара используется в медицине, в производстве целлулоида, лаков и кинопленки.

Живичная, экстракционная и талловая канифоль – ценнейший лесохимический продукт. Канифоль потребляет промышленность синтетического каучука, она идет для проклейки бумаги. Глицериновый эфир канифоли вводят в состав нитролаков. Канифоль используется для изготовления электроизоляционных материалов, в мыловаренной, полиграфической, шинной и других отраслях промышленности.

Дубильные вещества можно получать из коры ивы (8–12 % таннинов), ели (7–12 %), лиственницы (10–15 %), пихты (7–15 %) и некоторых других пород, а также из древесины дуба и каштана, которые соответственно содержат около 5 и 7 % таннинов. Промышленность для производства дубителей использует лиственничное, еловое и ивовое корье, заготавливаемое согласно ГОСТ 6663–74, а также древесное сырье из дуба и каштана (ГОСТ 4106–74). Дубильные вещества экстрагируют горячей водой. Товарными продуктами являются жидкие, тестовидные или твердые порошкообразные дубильные экстракты.

Использование древесной зелени и коры. Древесная зелень включает в себя листья (хвою), регламентированное количество примесей – коры, древесины, а также неодревесневших побегов, почек, семян и т. д. Согласно ГОСТ 21769–76 хвойная древесная зелень представляет собой тонкие ветви (диаметром до 8 мм) с хвоей, заготавливаемые от свежесрубленной древесины. Лиственная древесная зелень используется пока мало.

В живых клетках, особенно в листьях (хвое), содержится много биологически активных веществ: витаминов, хлорофилла, каротина, ферментов, микроэлементов и др. В хвое в 6 раз больше аскорбиновой кислоты (витамина С), чем в лимонах и апельсинах. Эти вещества необходимы не только растениям, но человеку и животным. Поэтому в качестве добавки в рацион питания животных используют веточный корм, хвойную витаминную муку (ГОСТ 13797–78).

Благодаря работам Ф.Т. Солодкого (ЛТА), А.И. Калниньша (ИХД) и других исследователей, продолжающимся в С.–Петербургской лесотехнической академии [88], создан ряд ценных препаратов. Известна хвойная хлорофиллокаротиновая паста, применяемая для лечения ожогов, кожных заболеваний и других целей. Из бензинового экстракта древесной зелени получают провитаминный концентрат с большим содержанием витамина Е; хлорофилин натрия, близкий по строению к гемоглобину крови.

Продукты из древесной зелени используются в парфюмерно-косметической промышленности; выпускаются средства для отпугивания и уничтожения насекомых, борьбы с грибами и вирусами, лечебные экстракты.

ММА им. Сеченова, ВИЛАР и СО РАН разработали препарат «Диквертин», рекомендуемый в виде пищевых добавок при воспалительных заболеваниях. Он также используется в качестве антиокислителя, увеличивающего срок хранения продуктов.

В древесной зелени содержатся также эфирные масла – легко летучие ароматические вещества. Наибольшее количество эфирных масел (2,5 %) содержится в пихтовой лапке; в сосновой и еловой лапке их в 5–7 раз меньше. Эфирные масла получают из древесной зелени путем отгонки их с паром и последующей конденсации. Широко известно пихтовое эфирное масло (ГОСТ 11699–80), используемое для синтеза камфары, в производстве парфюмерии и косметики, мыловарении и др.

Из тяжелой фракции соснового и елового эфирного масла (побочного продукта при производстве хлорофилло-каротиновой пасты) получают пинабин – эффективное средство для лечения почечно-каменной болезни.

Путем прессования лиственной и хвойной древесной зелени получают богатый витаминами и микроэлементами натуральный сок, который можно использовать в сельском хозяйстве, парфюмерии, медицине и пищевой промышленности (при изготовлении безалкогольных напитков, мармелада).

Кора, как уже отмечалось, используется для получения экстрактивных веществ, грубых кормов, кормовых полуфабрикатов (из осины). Путем компостирования с добавкой аммонийных и фосфорсодержащих солей кору можно превратить в ценное удобрение. Кору используют для получения строительных (главным образом теплоизоляционных) плит, а при невозможности переработки – в виде топлива.

ГЛАВА 4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ И КОРЫ

§ 10. Внешний вид древесины

Цвет. Древесина поглощает падающее световое излучение избирательно. От спектрального состава отраженного ею светового потока зависит возникающее зрительное ощущение, называемое цветом.

Обычно для характеристики цвета древесины используют словесные описания, в основе которых лежат определенные зрительные образы или символические понятия. Однако это свойство древесины можно объективно охарактеризовать с помощью методов, которыми располагает колориметрия (от латинского "колор" – цвет) – наука о цветовых измерениях. Для этого необходимо установить численные значения трех показателей – цветового тона λ, чистоты P и светлоты ρ.

Цветовой тон определяется длиной волны λ чистого спектрального цвета. Обычно цвета окружающих нас объектов более или менее блеклые, так как чистые спектральные цвета разбавлены белым. Чистота цвета P, которая характеризует степень этого разбавления может изме-

няться от 100 % до нуля. Светлота определяется коэффициентом отражения ρ. Для белых поверхностей, отражающих максимальное количество световой энергии, коэффициент отражения близок к единице, для черных приближается к нулю.

Характеристики цвета древесины можно установить, используя фотоэлектрические колориметры или атлас цветов, представляющий собой альбом с большим количеством накрасок. Каждой накраске соответствует определенный номер, по которому в таблице справочника, приложенного к атласу, находят значения λ, *P* и ρ.

С помощью такого атласа автором были определены цветовые характеристики пород из коллекции МЛТИ. Было показано, что выдержанная в течение 5–20 лет древесина большинства отечественных пород весьма мало отличается по цветовому тону. Длина волны λ колеблется в пределах 578–585 нм*, что соответствует желтому участку спектра. Вместе с тем наблюдается большое разнообразие значений чистоты цвета *P*, которые изменяются в пределах 30–60 %. Светлота ρ изменяется в еще больших пределах (20–70 %). Данные, характеризующие цвет некоторых из исследованных пород, приведены в табл. 9

9. Цветовые характеристики древесины некоторых пород

Порода	Цветовой тон λ, нм	Чистота *P*, %	Светлота ρ, %
Лиственница – ядро	583,5	54,0	32,5
Тис – ядро	585,5	55,8	25,1
– заболонь	579,2	45,6	53,5
Сосна – ядро	581,1	51,6	49,0
– заболонь	579,0	47,0	58,6
Ель	580,0	44,0	54,4
Кедр – ядро	583,0	46,5	39,5
Пихта	579,6	40,1	57,3
Дуб – ядро	581,5	53,1	29,9
Ильм – ядро	582,0	44,3	34,7
Клен	582,0	41,7	41,7
Береза	582,9	42,2	41,6
Бук	582,7	41,6	35,0
Осина	578,2	38,6	68,7

Для представления результатов измерения цвета древесины используют различные колориметрические системы: X, Y, Z; CIE-L* a*b* и др.

Основное вещество, из которого состоит древесина, – целлюлоза почти белого цвета. Все многообразие цветовых оттенков древесины при-

* 1 нанометр (нм) = 1 миллимикрону = 10^{-9} м

дают ей вещества, заключенные в полостях клеток или пропитывающие их стенки, – красящие и дубильные, смолы и продукты их окисления.

Древесина пород умеренного пояса окрашена бледно, а – тропического пояса очень ярко. Интенсивность окраски увеличивается с возрастом, особенно у ядровых пород; в оптимальных условиях роста окраска бывает более яркой.

Древесина многих пород изменяет цвет при выдержке под влиянием воздуха и света. Тем не менее цвет многих пород настолько характерен, что может служить одним из признаков при их распознавании. Изменение цвета древесины чаще всего указывает на поражение ее грибами.

В речной воде древесина дуба сильно темнеет в результате соединения дубильных веществ с солями железа. Этой же причиной объясняется и появление на поверхности дубовых пиломатериалов черных полос и пятен при распиловке сырой древесины. Заболонь сосны после сплава иногда приобретает желтую окраску, а древесина березы – оранжевую. При пропаривании древесины бука она довольно равномерно окрашивается в красноватый цвет. После высокотемпературной сушки у древесины хвойных пород появляется буроватая окраска.

Цвет – одна из важнейших характеристик внешнего вида древесины, которую учитывают при выборе пород для внутренней отделки помещений, изготовления мебели, музыкальных инструментов, художественных поделок, спортивного инвентаря и т. д.

Блеск. Под блеском древесины понимают ее способность направленно отражать световой поток. Наибольший блеск наблюдается при освещении зеркальных, т. е. гладких поверхностей с размерами неровностей, меньшими половины длины световой волны. В отличие от них матовые поверхности, имеющие однородные неровности больших размеров, отражают световой поток диффузно, т. е. равномерно во все стороны. Поверхности даже самым тщательным образом обработанной древесины приближаются к матовым и могут характеризоваться коэффициентом диффузного отражения (белизной).

Если на продольных разрезах древесины встречаются участки со сравнительно небольшими структурными неровностями, появляются блики, отсветы. Такой способностью обладают сердцевинные лучи на радиальных разрезах (лучше расколах) древесины клена, платана, бука, ильма, дуба, кизила, белой акации, айланта; шелковистый блеск свойственен древесине бархатного дерева. Из иноземных пород особенно заметным блеском отличается древесина сатинового дерева и махагони (красное дерево).

Исследования, проведенные ранее автором и позднее Б.М. Рыбиным (МЛТИ) с помощью блескомера ФБ-2, показывают, что при использованном способе измерения степень блеска зависит от колориметрических характеристик древесины и ее белизны. Чем больше белизна, тем выше из-

меряемые показатели блеска. Эти показатели возрастают с увеличением угла падения (и отражения) светового потока.

Пока еще не удается дать полную количественную характеристику блеска древесины, точно соответствующую нашим зрительным восприятиям.

Текстура. Текстурой* называют рисунок, образующийся на поверхности древесины вследствие перерезания анатомических элементов. Чем сложнее строение древесины и разнообразнее сочетание отдельных элементов, тем богаче ее текстура. В строении древесины хвойных пород принимает участие сравнительно мало типов упорядоченно расположенных анатомических элементов, создающих довольно однообразную текстуру.

У хвойных пород текстура зависит в основном от разницы в окраске ранней и поздней древесины, а также от ширины годичных слоев. Извилистые очертания годичных слоев образуют более интересный рисунок, особенно у лиственницы (рис. 23, а) и тиса на тангенциальном разрезе.

Для древесины лиственных пород с более сложным строением характерно наличие видимых невооруженным глазом крупных сосудов (например, ясень, бархатное дерево, дуб), сердцевинных лучей, обычно окрашенных темнее, чем окружающая древесина (например, бук, ильм, платан), неправильно расположенных волокон и т. д. Это создает более богатую текстуру.

Выбор направления разреза древесины определяет характер текстуры. Из наших лиственных пород на радиальном разрезе красивую текстуру, обусловленную наличием сердцевинных лучей имеют: бук, платан, клен, явор, дуб, ильм, карагач (рис. 23, б). Три последние кольцесосудистые породы ценятся своей текстурой и на тангенциальном разрезе.

Кроме этих пород на тангенциальном разрезе красивую текстуру, образованную в основном перерезанными сосудами, имеют: ясень, грецкий орех, бархатное дерево, каштан съедобный, вяз.

Путаное расположение волокон (свилеватость) создает отличающуюся высокими декоративными свойствами текстуру древесины капов – наростов на стволах деревьев лиственных пород. Так называемая узорчатая древесина наблюдается у карельской берёзы (рис 23, в). Очень ценится текстура "птичий глаз", представляющая собой аномальную древесину белого клена. Выразительна волнистая текстура ясеня маньчжурского (рис. 23, г). Своеобразную текстуру можно получить при неравномерном прессовании древесины, лущении ее ножом с волнистым лезвием, а также при лущении древесины под углом к направлению волокон. Текстура, также как и цвет, определяет ценность древесины как декоративного материала. Прозрачная отделка древесины лаками проявляет ее текстуру. Лаковое

---

* Не следует смешивать с английским термином "*texture*", который используется для обозначения фактуры древесины: анатомических неровностей, мелко- и крупнослойности.

покрытие, имеющее близкий к древесине коэффициент преломления света, увеличивает прозрачность поверхностных слоев и способствует зрительному восприятию глубины текстуры.

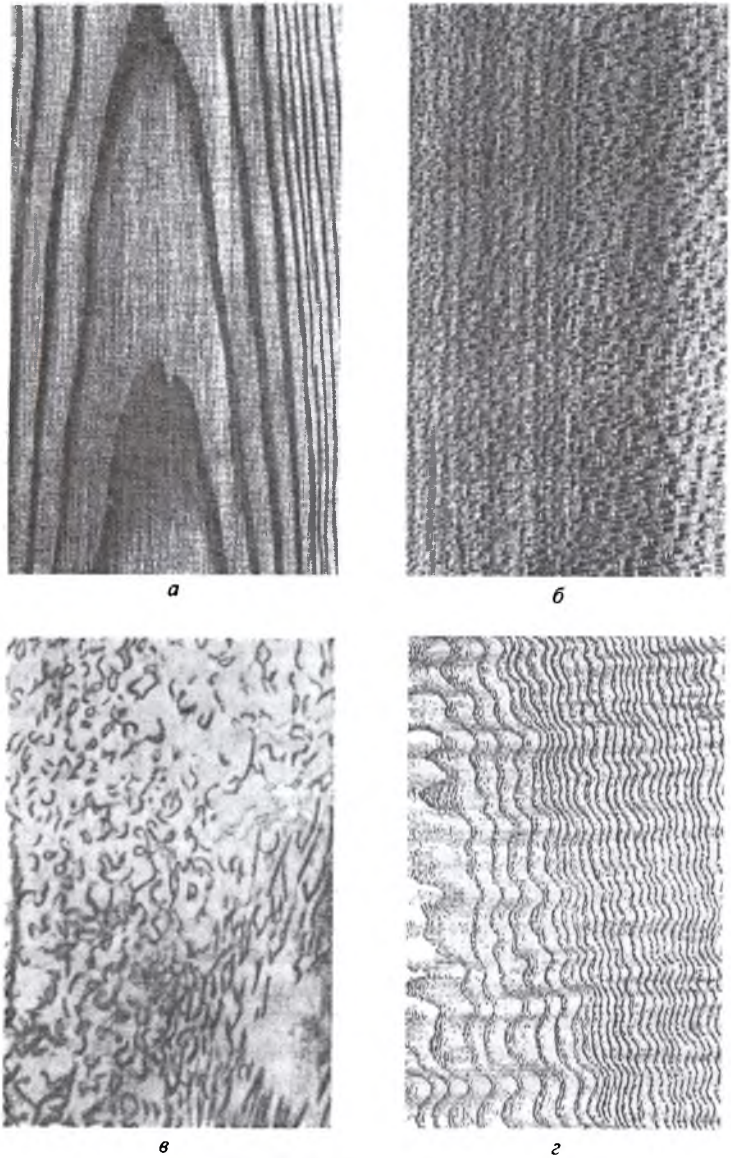


Рис. 23. Текстура древесины:
а – лиственницы (тангенциальный разрез); *б* – ильма (радиальный разрез); *в* – карельской березы; *г* – ясеня маньчжурского (волнистая)

Макроструктура. Для оценки качества древесины по внешнему виду используют некоторые характеристики макроструктуры: ширину годичных слоев, степень равнослойности, содержание поздней древесины в годичных слоях, равноплотность, а также величину и характер распределения анатомических неровностей.

Показателем годичного прироста, характеризующим среднюю ширину годичных слоев, служит число слоев, приходящееся на 1 см отрезка, отмеренного по радиальному направлению на торцовой поверхности образца. Степень равнослойности обычно оценивают по разнице в числе годичных слоев на двух таких соседних участках длиной по 1 см. Содержание поздней древесины определяется соотношением в процентах между суммарной шириной зон поздней древесины и общей протяженностью (в радиальном направлении) участка измерения, включающего целое число слоев.

Согласно ГОСТ 16483.18–72 на торце образца проводят карандашом линию в радиальном направлении, отмечают границы крайних целых годичных слоев на участке примерно в 2 см и подсчитывают число слоев N. Расстояние l между отметками измеряют масштабной линейкой с погрешностью не более 0,5 мм. Число годичных слоев в 1 см вычисляют с погрешностью до половины слоя по формуле

$$n = \frac{N}{l}. \qquad (2)$$

Затем в каждом годичном слое между отметками измеряют ширину поздней зоны δ измерительной лупой с погрешностью не более 0,1 мм; полученные величины складывают и процент поздней древесины подсчитывают с погрешностью до 1 % по формуле

$$m = \frac{100\sum\delta}{l}, \qquad (3)$$

где $\sum\delta$ – общая ширина поздних зон; l – общее протяжение тех годичных слоев, в которых измерялась ширина поздней зоны.

Существуют различные автоматизированные приборы для измерения этих показателей. В отечественной практике находит применение микродендрометр, разработанный в МарГТУ.

Как указывалось ранее, ширина годичных слоев и содержание поздней древесины у разных пород различны, они изменяются по высоте и радиусу ствола, зависят от условий произрастания. В табл. 10 приведены ориентировочные характеристики макроструктуры древесины для некоторых наших пород [27, 9].

Равноплотность древесины характеризуется равномерностью распределения механических тканей по ширине годичного слоя. Малой равноплотностью обладает древесина пород с резкой разницей в строении ранней и поздней зон годичных слоев – лиственница, сосна, дуб, ясень и др. Высокой равноплотностью отличаются самшит, груша, граб, клен, бук, ольха, осина, липа и ряд других пород.

Поверхности древесины, как бы тщательно они не обрабатывались режущими инструментами, всегда будут иметь те или иные неровности, образованные перерезанием полых анатомических элементов.

10. Ширина годичных слоев и содержание поздней древесины у некоторых пород

Порода	Район произрастания	Число годичных слоев в 1 см	Процент поздней древесины
Лиственница сибирская	Западная Сибирь	5,5	34
	Восточная Сибирь	13,5	29
Сосна обыкновенная	Север европейской части	11,8	26
	Западная Сибирь	6,9	29
	Восточная Сибирь	11,2	27
Ель обыкновенная	Север европейской части	12,1	21
Ель сибирская	Западная Сибирь	6,5	25
	Восточная Сибирь	9	25
Дуб черешчатый	Центральные районы европейской части	5,5	65
Береза повислая и пушистая	Центральные районы европейской части	5,5	–
Осина	Центральные районы европейской части	5,4	–

Поверхность продольных разрезов древесины таких часто используемых для отделки пород, как дуб, ясень, орех, ильм, по данным Б.М. Буглая и Н.М. Бессоновой имеет анатомические неровности высотой до 200 мкм и более. У хвойных пород неровности имеют высоту 8–60 мкм, а у большинства рассеяннососудистых лиственных пород 30–100 мкм.

§ 11. Влажность древесины и коры; свойства, связанные с ее изменением

Вода в древесине. В растущем дереве древесина содержит значительное количество воды, необходимой для его жизнедеятельности. В срубленной древесине в зависимости от условий хранения и транспортировки содержание воды может увеличиваться или уменьшаться. При использовании древесины в большинстве случаев воду из нее удаляют с целью улучшения качества материалов и готовых изделий.

Для количественной характеристики содержания воды в древесине используют показатель – **влажность**. Под влажностью (абсолютной)* понимают выраженное в процентах отношение массы воды к массе сухой древесины:

$$W = \frac{100(m - m_0)}{m_0}, \qquad (4)$$

где m – масса образца влажной древесины, г; m_0 – масса образца абс. сух. древесины, г.

Влажность древесины измеряют прямыми и косвенными методами. Прямые методы основаны на выделении тем или иным способом воды из древесины. Воду можно отделить путем **высушивания** и определить влажность с заданной степенью точности. Согласно ГОСТ 16483.7–71 с погрешностью до 0,1 % можно определить влажность проб из образцов, подвергавшихся физико-механическим испытаниям.

Очищенные от заусенцев и опилок пробы помещают в стеклянные бюксы с притертыми крышками и взвешивают на аналитических весах с погрешностью до 0,001 г. Бюксы используют для того, чтобы масса пробы не изменилась во время взвешивания. Массу бюксы определяют заранее на тех же весах. Пробы находятся в бюксах (но со снятыми крышками) и во время высушивания.

Пробы высушивают в сушильных шкафах – небольших камерах, чаще всего с электрическим нагревом и автоматическими регуляторами температуры. Бюксы с пробами находятся в шкафу при температуре воздуха 103±2 °С до тех пор, пока не будет достигнуто постоянное значение массы, устанавливаемое контрольными взвешиваниями. Первое взвешивание проводят через 6–10 ч., а далее через каждые 2 ч. Если разница в массе при двух взвешиваниях с указанным интервалом окажется менее 0,002 г, считают, что достигнуто абсолютно сухое состояние древесины. Пробы из смолистой древесины хвойных пород не должны находиться в сушильном шкафу более 20 ч.

Перед каждым взвешиванием бюксы закрывают крышками и охлаждают в сухом воздухе в **эксикаторах** – сосудах с безводным хлористым кальцием или серной кислотой концентрацией 94 %. Влажность, %, вычисляют по формуле

---

* Иногда, например, при определении содержания воды в дровах, используют показатель "относительная влажность" $W_{отн} = \frac{100(m - m_0)}{m}$.

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} 100, \qquad (5)$$

где m_1 – масса бюксы, г; m_2 – масса бюксы с пробой до высушивания, г; m_3 – масса бюксы с пробой после высушивания, г.

Влажность древесины с большей погрешностью (до 1 %) определяют по образцам размерами 20×20×30 мм, взвешивая их без бюкс на технических весах с погрешностью до 0,01 г. После первого взвешивания образцы помещают в сушильный шкаф, в котором они находятся до тех пор, пока по результатам двух последних контрольных взвешиваний (разница должна быть не более 0,02 г) не будет установлено достижение постоянной массы m_0. Влажность образца вычисляют по формуле (4). Описанный простой и надежный метод определения влажности путем высушивания нашел широкое применение.

Значительно реже применительно к древесине используют другой прямой метод, основанный на отгонке влаги с парами толуола (метод дистилляции). По этому методу сначала определяют на весах массу образца влажной древесины. Затем его нагревают с толуолом; образующиеся при этом пары конденсируются, благодаря разной плотности жидкостей вода легко отделяется от толуола, и можно измерить ее объем (массу). Зная массу влажной древесины и массу содержащейся в ней воды, можно определись влажность древесины в процентах.

Основной недостаток прямых методов заключается в том, что продолжительность процедуры очень велика. При методе высушивания она занимает 8–10 ч, а иногда и более. Этого недостатка лишены косвенные методы. Они основаны на измерении показателей других физических свойств древесины, которые зависят от содержания воды в древесине.

Для создания влагомеров широко используются зависимости между влажностью и электрическими параметрами древесины. Наибольшее распространение получили кондуктометрические электровлагомеры, основанные на измерении электропроводности древесины. В таких приборах контакт с древесиной осуществляется при помощи датчика с тремя игольчатыми электродами. Иголки датчика вводят через боковую (не торцовую) поверхность в древесину. Влажность определяют обычно на глубине 10 мм.

В современных конструкциях электровлагомеров вводятся данные о породе и температуре воздуха. На лицевой панели прибора высвечиваются показания влажности древесины в процентах. Абсолютная погрешность измерения влажности древесины в области ниже 30 % составляет ±1,5 %, а в области более 30 % погрешность значительно выше.

К недостаткам этих приборов помимо меньшей точности (по сравнению с методом высушивания) относится также и то, что они дают значения

локальной влажности древесины в месте введения игольчатых контактов. При обычно неравномерном распределении влажности по объему доски или заготовки этот недостаток может быть причиной дополнительных погрешностей в определении интегральной влажности древесины.

Известны также емкостные электровлагомеры, при помощи которых по емкости конденсатора с диэлектриком из древесины определяют зависящую от влажности диэлектрическую проницаемость древесины.

Разработаны конструкции индуктивных электровлагомеров, позволяющих определять влажность калиброванных образцов древесины бесконтактным способом. Эти приборы основаны на измерении индуктивности, или добротности контура катушки самоиндукции с сердечником из влажной древесины.

Используют также радиочастотные влагомеры, которые измеряют диэлектрические потери, зависящие от влажности древесины, и др.

Имеются предложения измерять влажность по проницаемости древесины для рентгеновского, бета- и гамма-излучения и другими, в том числе и комбинированными способами.

Влажность в растущем дереве распределена неравномерно как по радиусу, так и по высоте ствола. У хвойных пород влажность заболони в 3-4 раза выше влажности ядра и спелой древесины. Так, у сосны и ели Ленинградской области среднегодовая влажность заболони оказалась 112 и 122 %, влажность ядра и спелой древесины – 33 и 38 %.

В пределах ядра (спелой древесины) влажность у сосны, ели и лиственницы из Восточной Сибири распределена равномерно. В то же время у пихты, по данным В.П. Маркарянца и Л.Н. Исаевой, влажность центральной зоны спелой древесины намного выше, чем периферической. Аналогичное явление наблюдается у кедра.

У лиственных пород как ядровых (дуб, ясень, вяз, ильм), так и безъядровых (береза, осина, липа) распределение влажности по сечению ствола более или менее равномерно. При этом влажность ядровой древесины у некоторых лиственных пород (дуб, вяз и др.) может быть значительно выше, чем у хвойных, достигая 70–80 %, а иногда и более.

Влажность коры в свежесрубленном состоянии, по данным ЦНИИМЭ, в среднем составила: для сосны 120 %, ели 112 %, березы 58 %. У поступающего на предприятия сырья кора имеет меньшую влажность, порядка 60–80 %. Однако при этом влажность наружного слоя – корки для ели и сосны составляет 21 и 27 %, а для березы 7 %; влажность луба у хвойных пород в 7 раз, а у березы в 10 раз больше. Сплавное сырье имеет кору влажностью в 3–4 раза большей, чем у сырья сухопутной доставки.

По высоте ствола влажность заболони в хвойных породах увеличивается в направлении от комля к вершине, а влажность ядра остается практически без изменения. В стволах ядровых лиственных пород (дуб, ясень,

вяз) влажность ядра вверх по стволу слегка понижается, а влажность заболони почти не изменяется, у лиственных безъядровых пород (осина, липа) влажность увеличивается от комля к вершине. Влажность коры у сосны в нижней части ствола на 60–75 % меньше, чем в средней и вершинной. У ели и березы влажность коры по высоте ствола примерно одинакова.

Поскольку древесина молодых деревьев почти полностью состоит из заболони, она больше подвержена сезонным колебаниям. Данные об изменении влажности древесины сосны, ели, березы и осины, произрастающих в Ленинградской области, свидетельствуют о том, что наибольшая влажность в дереве наблюдается зимой (ноябрь-февраль), а наименьшая – летом (июль-август). Влажность заболони летом может быть на 25–50 % ниже, чем зимой, а влажность ядра (спелой древесины) в течение года почти не изменяется.

Кроме сезонных изменений влажность древесины в стволах растущих деревьев подвержена и суточным колебаниям. Так, в заболони ели утром наблюдалась влажность 186 %, в полдень 132, вечером 150 %, в заболони дуба утром (в августе) 68 %, в полдень 72, вечером 66, ночью 71 %.

Различают две формы воды, содержащейся в древесине, – с в я з а н н у ю (или гигроскопическую) и с в о б о д н у ю. Связанная (адсорбционная и микрокапиллярная) вода находится в клеточных стенках, а свободная содержится в полостях клеток и в межклеточных пространствах. Связанная вода прочно удерживается в основном физико-химическими связями; удаление этой воды, особенно ее адсорбционной фракции, затруднено и существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная вода, удерживаемая силами капиллярного взаимодействия, удаляется значительно легче и оказывает меньшее влияние на свойства древесины. Принято называть древесину в л а ж н о й, если она содержит только связанную воду, или с ы р о й, если она содержит кроме связанной и свободную воду.

Максимальное количество связанной воды в клеточных стенках соответствует пределу их насыщения или пределу гигроскопичности. Раньше в древесиноведческой литературе эти понятия отождествляли. Однако, как показали исследования, проведенные П.С. Серговским и Я.Н. Станко (МЛТИ) между ними есть существенная разница.

Нами были предложены следующие определения указанным терминам.

П р е д е л н а с ы щ е н и я к л е т о ч н ы х с т е н о к $W_{п.н}$ – это максимальная влажность клеточных стенок, достигаемая при увлажнении древесины в воде. Прямое экспериментальное определение $W_{п.н}$ затруднительно, поскольку после увлажнения древесины в воде или в растущем дереве при полном насыщении клеточных стенок связанной водой в полостях клеток и в межклеточных пространствах находится свободная вода. Однако этот показатель можно определить, %, по формуле

$$W_{п.н} = \left(\frac{1}{\rho_б} - \frac{1}{\rho_о}\right)\rho_в\, 100, \qquad (6)$$

где $\rho_б$ и $\rho_о$ – соответственно базисная плотность древесины и плотность абс. сух. древесины, г/см^3;

$\rho_в$ – плотность связанной воды, г/см^3.

Расчеты, выполненные автором по этой формуле на основе экспериментально полученной в МЛТИ (В.П. Галкин и Э.Б. Щедрина) степенной зависимости между разбуханием и плотностью древесины (эта зависимость необходима для определения $\rho_б$), показали существенное влияние плотности на $W_{п.н}$. Зависимость $W_{п.н} = f(\rho_б)$ – гиперболического вида; с увеличением плотности $W_{п.н}$ снижается. Об этом свидетельствуют и данные зарубежных исследователей [по 102]. Указанное явление можно объяснить тем, что с увеличением плотности древесины уменьшается площадь поверхности клеточных стенок, в углублениях которых удерживается микрокапиллярная вода. Это приводит к уменьшению количества связанной воды и, следовательно, к снижению $W_{п.н}$.

Если использовать данные о плотности древесины $\rho_б$ и $\rho_о$ наших пород, приведенные в табл. 19, то вычисленная по формуле 6 величина $W_{п.н}$ изменяется от 24 % (граб) до 38 % (пихта). Расчеты Т.В. Галкиной по исходным литературным данным для 117 пород с плотностью $\rho_о$ от 1100 до 100 кг/м^3 показали, что $W_{п.н}$ изменяется от 22 до 53 %.

Следовательно явно не подтверждается предположение Б.С. Чудинова [35], что указанная формула якобы дает значения $W_{п.н.}$, которые не зависят от плотности $\rho_о$. Предложенная формула нашла признание других исследователей [100].

При расчетах обычно используют среднюю величину $W_{п.н} = 30\%$. Такая величина может быть принята для древесины пород, произрастающих в умеренном климатическом поясе. Однако для отдельных пород (особенно с малоплотной древесиной) отклонения от этой величины могут достигать 10–15 % влажности и даже более. Точные значения $W_{п.н}$ для древесины каждой из отечественных пород предстоит еще определить.

Предел гигроскопичности $W_{п.г}$ – это максимальная влажность клеточных стенок, достигаемая при сорбции паров воды из воздуха; характеризуется отсутствием воды в полостях клеток и равновесием влажности клеточных стенок с воздухом, приближающимся к насыщенному состоянию. Этот показатель может быть определен прямым экспериментом.

Если очень долго выдерживать древесину в насыщенном воздухе при относительной влажности φ=1, то, как было показано в работах

А. Стамма, Б.С. Чудинова [82], Г.С. Шубина [83], заполняются водой не только стенки, но и полости клеток.

Поэтому для определения предела гигроскопичности может быть использован метод, разработанный ЦНИИМОДом (ГОСТ 16483.32–77), но с выдержкой образцов в виде набора стружек не над чистой водой, а над растворами, понижающими φ до 0,995.

В то время как на величину предела насыщения клеточных стенок $W_{п.н}$ изменение температуры практически не оказывает влияния, предел гигроскопичности $W_{п.г}$ с повышением температуры заметно снижается и, например, при 100 °С составляет 19–20 %. При отрицательных температурах $W_{п.г}$ также уменьшается и при –22 °С, по данным разных авторов [82, 83], составляет 17–21 %. Предел гигроскопичности, как и предел насыщения клеточных стенок, увеличивается с уменьшением плотности древесины. У пород с менее плотной древесиной значительно увеличивается поверхность клеточных стенок с микроуглублениями, в которых происходит конденсация влаги из воздуха [82]. Хотя эти углубления лишь условно можно считать капиллярами, воду, образующуюся на поверхности, выстилающей полости клеток, при сорбции можно назвать капиллярно-конденсационной.

По нашим расчетам количество капиллярно-конденсационной воды при увлажнении в воздухе несколько меньше количества микрокапиллярной воды при увлажнении путем выдерживания в воде. Можно принять, что при комнатной температуре предел насыщения клеточных стенок практически равен пределу гигроскопичности.

При выдерживании древесины в воздухе определенного состояния ее влажность становится *устойчивой*. Состояние воздуха характеризуется температурой t и относительной влажностью (степенью насыщенности влагой) φ, которая может изменяться от 0 до 100 %. Величина устойчивой влажности древесины, длительно выдержанной при определенных значениях t и φ практически одинакова для всех пород. При поглощении влаги (сорбции) она меньше, чем при удалении влаги (десорбции). Эту разницу между устойчивыми влажностями принято называть *гистерезисом сорбции*. Следует иметь в виду, что при сорбции и десорбции происходит изменение содержания связанной влаги. Измельченная древесина (опилки, стружки) с большой удельной поверхностью имеет очень малый гистерезис сорбции и ее устойчивую влажность называют *равновесной* W_p. У сортиментов из древесины толщиной более 15 мм и шириной более 100 мм гистерезис сорбции составляет около 2,5 % [61]. Таким образом, равновесная влажность досок и других крупных сортиментов меньше устойчивой влажности десорбции, но больше устойчивой влажности сорбции примерно на 1,3 %.

Связи между равновесной влажностью древесины и состоянием воздуха отражает диаграмма на рис. 24. При данной температуре и относи-

тельной влажности (степени насыщенности) воздуха φ равновесную влажность по диаграмме находят следующим образом. Допустим, например, что $t = 20$ °С, а $\varphi = 60$ %; соответствующие вертикальная и горизонтальная прямые пересекаются в точке, которая оказывается расположенной между двумя наклонными кривыми $W_p = 11$ % и $W_p = 12$ %. Интерполируя получают искомую равновесную влажность древесины 11,2 %.

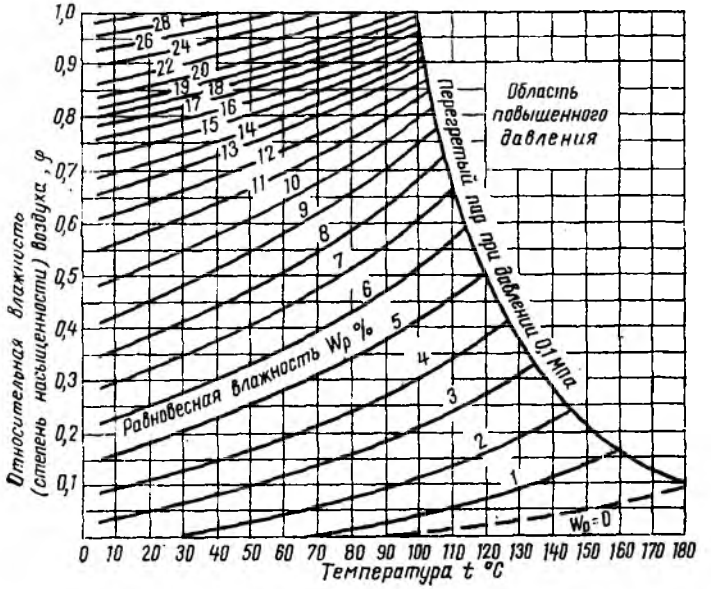


Рис. 24. Диаграмма равновесной влажности древесины (по П.С. Серговскому)

При повышенном давлении (в среде перегретого пара), так же как при атмосферном давлении, равновесная влажность древесины, выдержанной при постоянной относительной упругости пара φ, будет тем ниже, чем выше температура среды. Некоторые значения равновесной влажности древесины в среде перегретого пара [по 83] приведены в табл. 11.

11. Равновесная влажность древесины, %, в среде перегретого пара при повышенном давлении

Давление, МПа	Температура, °С					
	115	120	130	140	150	160
0,15	9,5 (0,85)	7,4 (0,73)	4,9 (0,55)	3,5 (0,40)	2,4 (0,31)	1,5 (0,23)
0,20	–	13,8 (1,0)	6,7 (0,72)	4,6 (0,55)	3,1 (0,41)	2,1 (0,31)
0,30	–	–	–	7,1 (0,82)	4,6 (0,61)	3,4 (0,48)

Примечание. В скобках указаны значения степени насыщенности пара φ.

При испытаниях с целью определения показателей физико-механических свойств древесины ее кондиционируют, приводя к нормализованной влажности. Это равновесная влажность древесины, соответствующая $t = 20\pm2$ °С и $\varphi = 65\pm5$ % и в среднем равна 12 %.

В практике различают пять степеней влажности древесины (см. табл. 12)

12. Степени влажностного состояния древесины

Состояние древесины	Условия достижения	Влажность, W, %
Мокрая древесина	Длительное нахождение в воде	> 100
Свежая (свежесрубленная) древесина	Сохранение влажности растущего дерева	50–100
Древесина атмосферной сушки (воздушно-сухая)	Сушка или выдержка на открытом воздухе	15–20
Древесина камерной сушки (комнатно-сухая)	Сушка в камерах или выдержка в отапливаемом помещении	8–12
Абсолютно сухая древесина	Сушка при $t = 103\pm2$ °С	0

Высыхание древесины. Влажность древесины, находящейся на открытом воздухе или в помещении, постепенно уменьшается. При этом происходят одновременно два процесса: испарение воды в окружающую среду и перемещение воды изнутри к поверхности. Поскольку испарение воды с поверхности древесины происходит быстрее, чем ее продвижение по древесине, внутренняя зона сортимента (доски, бруса, бревна) имеет большую влажность, чем периферические зоны. Распределение влажности по толщине, ширине или длине сортимента характеризуется градиентом влажности, т. е. тангенсом угла наклона касательной к кривой влажности.

При влажности ниже предела насыщения клеточных стенок $W_{п.н}$, когда в древесине содержится только связанная вода, скорость ее передвижения пропорциональна градиенту влажности и коэффициенту влагопроводности. Влагопроводность определяет способность древесины проводить связанную воду. Вода перемещается в древесине по системе макрокапилляров, заполненных воздухом (полости клеток, межклеточные пространства), и по системе микрокапилляров в клеточных стенках. По макрокапиллярам влага перемещается в виде пара, а по микрокапиллярам – преимущественно в виде жидкости.

При влажности выше $W_{п.н}$, когда в древесине присутствуют не только связанная, но и свободная вода, градиент влажности, как показал П.С. Серговский, не определяет скорости передвижения воды. Если древесина содержит свободную воду по всему объему сортимента, в ней возможно лишь передвижение свободной воды в виде жидкости под действи-

ем внешних сил (например, разности гидростатического или избыточного давления). В этом случае передвижение свободной воды будет определяться водопроводностью (или капиллярной проницаемостью древесины).

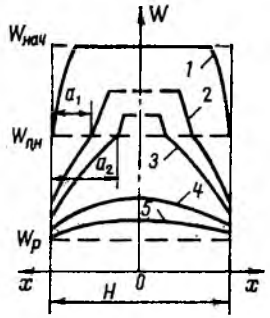


Рис. 25. Распределение влажности по толщине сортимента на разных этапах высыхания (по П.С. Серговскому):
H – толщина доски; $W_{нач}$, $W_{п.н}$, W_p – соответственно начальная влажность, предел насыщения клеточных стенок, равновесная влажность; a_1, a_2 – зоны влагопроводности

В процессе высыхания влажность у поверхностных слоев вследствие испарения свободной воды быстро доходит до предела насыщения клеточных стенок (рис. 25 кривая 1). Здесь радиус заполненных водой капилляров (в клеточных стенках) оказывается меньше, чем радиус макрокапилляров (полостей клеток) во внутренних слоях. Возникает разность капиллярных давлений и свободная вода, по мере ее испарения, подсасывается к поверхности .У тонких сортиментов (шпон, тарная дощечка и др.) подвод воды изнутри к поверхности происходит без особых затруднений, и влажность на поверхности в начальный период поддерживается на постоянном уровне, близком к пределу насыщения клеточных стенок. В этот период процесса скорость сушки (уменьшение влажности в единицу времени) постоянна. Когда запасы воды в зонах, сравнительно близко расположенных к поверхности, будут исчерпаны и потребуется подведение воды из более глубоких зон, влажность на поверхности станет ниже $W_{п.н}$. Начиная с этого момента, испарение свободной воды (частично) будет происходить в глубине сортимента и по его толщине образуются две зоны. В наружной зоне влагопроводности (a на рис. 25) скорость перемещения связанной воды, как уже отмечалось, зависит от градиента влажности, во внутренней капиллярной зоне $\left(\frac{H}{2}-a\right)$ свободная вода продвигается под действием сил капиллярного давления. Между зоной влагопроводности и капиллярной зоной находится поверхность испарения свободной воды. Вследствие неоднородности строения древесины поверхность раздела между указанными зонами распространяется на некоторую толщину. Постепенно, из-за все больших затруднений в продвижении воды изнутри толщина зоны влагопроводности увеличивается (a_2 у кривой 3 больше a_1 у кривой 2 на рис. 25), и скорость сушки замедляется. После того как вся свободная вода удалена, кривые распределения влажности имеют вид снижающихся к W_p парабол (4 и 5 на рис. 25), и скорость сушки продолжает уменьшаться.

При высыхании толстых сортиментов (доски, брусья), когда поступление свободной воды к поверхности затруднено, период постоянной скорости сушки практически отсутствует.

Для расчета процессов высыхания (и увлажнения) древесины необходимо располагать данными о величине коэффициентов влагопроводности, от которых зависит интенсивность изотермического переноса связанной воды.

По разработанному П.С. Серговским методу коэффициент влагопроводности можно определить экспериментально, если обеспечить постоянный ток воды через образец и знать кривую распределения влажности в направлении тока. Тогда коэффициент влагопроводности, м^2/с, находят по формуле

$$D = \frac{M}{F\ \rho_0 \left(\frac{du}{dx}\right)}, \qquad (7)$$

где D – коэффициент влагопроводности, м^2/с; M – скорость тока воды через образец, кг/с; F – площадь сечения образца, м^2; ρ_0 – плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, кг/м^3; u – влагосодержание древесины, определяемое по формуле $\frac{(m-m_0)}{m_0}$; $\frac{du}{dx}$ – градиент влажности, м$^{-1}$.

Позднее П.С. Серговский и Р.П. Алпаткина (МЛТИ) определили коэффициент влагопроводности другим методом – по времени увлажнения образца. Эти данные для разной температуры представлены в табл. 13.

13. Коэффициенты влагопроводности древесины некоторых пород при разных температурах

Порода	Зона древесины	Направление тока влаги	Средняя базисная плотность $\rho_б$, кг/м^3	Коэффициент влагопроводности $D\cdot10^{10}$, м^2/с, при температуре, °С		
				20	60	80
Лиственница	Ядро	Тангенциальное	482	1,66	4,9	8,1
		Радиальное	482	1,93	5,05	8,6
Ель	Спелая древесина	Тангенциальное	350	2,65	9,05	17,7
		Радиальное	350	2,78	9,20	20,0
	Заболонь	Тангенциальное	350	3,16	12,1	19,0
		Радиальное	350	3,26	13,7	19,6
Осина	Центральная и периферийная зоны	Тангенциальное	388	2,27	8,56	16,2
		Радиальное	388	2,58	9,93	17,4
Береза	—"—	Тангенциальное	500	1,85	6,20	10,0
	—"—	Радиальное	500	2,07	6,34	11,4

Коэффициент влагопроводности зависит от плотности древесины. При малой плотности основную роль в передвижении влаги по древесине, вероятно, играет система макрокапилляров, поэтому уменьшение плотности и соответствующее увеличение объема полостей клеток, естественно, вызывают повышение коэффициента влагопроводности. В ядровой и спелой древесине проницаемость пор в стенках клеток значительно меньше, чем в заболони, поскольку и в растущем дереве только заболонь является водопроводящей зоной. Этим объясняется меньшая влагопроводность ядровой (спелой) древесины по сравнению с заболонной при одинаковой плотности.

В радиальном направлении влагопроводность несколько больше, чем в тангенциальном, что связано с влиянием сердцевинных лучей. У пород с широкими лучами (бук, дуб) отношение коэффициентов влагопроводности в указанных направлениях составляет соответственно 1,7 и 1,5, а у сосны с очень узкими лучами – только 1,15. Коэффициент влагопроводности древесины вдоль волокон в 15–20 раз больше, чем в тангенциальном направлении поперек волокон, так как вода перемещается по направлению ее основного тока в растущем дереве.

Влагопроводность значительно увеличивается при повышении температуры, вследствие возрастания коэффициента диффузии пара и снижения вязкости воды.

При отрицательной температуре, как показывают опыты Э.Б. Щедриной (МЛТИ), наблюдается такой же характер влияния указанных выше факторов на влагопроводность, как и при положительной температуре. Однако при переходе через точку замерзания воды происходит резкое изменение коэффициентов влагопроводности. При 0 °С для незамерзшей древесины коэффициенты влагопроводности в 3–4 раза больше, чем при той же температуре для замерзшей древесины. Более подробные сведения о коэффициентах влагопроводности, используемых для расчетов продолжительности сушки, приводятся в курсе гидротермической обработки древесины [61].

Среди промышленных способов сушки наибольшее распространение имеют атмосферная и камерная. При атмосферной сушке пиломатериалов [24] в штабелях на открытом воздухе продолжительность сушки сравнительно велика. Так, по данным Ф.И. Коперина и Н.П. Федышина (АЛТИ), время, необходимое для того, чтобы свежевыпиленные сосновые доски толщиной 35–50 мм в климатических условиях северной зоны достигли транспортной влажности (22 %), следующее: при укладке досок для сушки в апреле-мае 43–51 сут., июне-июле 22–43 сут., августе-сентябре 43–51 сут. Тем не менее, этот способ сушки достаточно широко используется, так как он дешевле камерной сушки.

При сушке пиломатериалов в сушильных камерах при повышенной температуре интенсивность процесса удаления воды выше. В камерах пиломатериалы можно высушить до более низкой влажности и значительно быстрее. Продолжительность сушки досок толщиной 40 мм от влажности 60 % до 12 % составляет 3–4 сут.

Усушка. Уменьшение линейных размеров и объема древесины при удалении из нее связанной воды называется у с у ш к о й. Снижение содержания свободной воды не приводит к усушке древесины.

Усушку вызывает удаление адсорбционной воды, находящейся внутри древесинного вещества. Однако одновременно с адсорбционной водой происходит испарение микрокапиллярной воды, поэтому усушка наблюдается при любой температуре сразу же после снижения влажности за предел насыщения клеточных стенок. Вначале удаляется преимущественно микрокапиллярная вода и сравнительно небольшое количество адсорбционной воды. Поэтому на начальном этапе снижения влажности усушка растет сравнительно медленно. После удаления всей микрокапиллярной воды наблюдается значительно более интенсивный рост усушки.

Адсорбционная вода находится в лигноуглеводной матрице главным образом в промежутках между целлюлозными микрофибриллами и частично внутри самих микрофибрилл [82, 46]. Поскольку микрофибриллы ориентированы в основном по направлению продольной оси клетки, удаление адсорбционной воды приводит к уменьшению толщины клеточных стенок и поперечных размеров клетки. Учитывая, что анатомические элементы вытянуты преимущественно вдоль оси ствола, наибольшая усушка должна наблюдаться в поперечных направлениях. Действительно, продольная усушка, которая обусловлена некоторым наклоном микрофибрилл, в несколько десятков раз меньше, так как составляет лишь долю от основной поперечной деформации. В тангенциальном направлении поперек волокон усушка в 1,5–2 раза больше, чем в радиальном.

Причины анизотропии усушки в плоскости поперек волокон, вытекающие из анализа, приведенного в монографии [71], а также последующих исследований МЛТИ 80-х годов, заключаются в следующем. Величина усушки находится в гиперболической (близкой к линейной) зависимости от плотности древесины: чем больше масса клеточных стенок в единице объема древесины (т. е. чем больше находится в данном объеме древесины адсорбционной воды), тем больше усушка. Следовательно, более плотные поздние зоны годичных слоев древесины должны усыхать больше, чем ранние зоны. Это подтверждается экспериментальными данными [56], пересчитанными согласно современным способам исчисления усушки и представленными в табл. 14.

14. Тангенциальная усушка ранней и поздней зон годичного слоя древесины*

Порода	Усушка, %		Порода	Усушка, %	
	ранней зоны	поздней зоны		ранней зоны	поздней зоны
Лиственница	7,8	9,4	Бук	11,4	11,8
Сосна	6,7	7,5	Береза	8,6	9,3
Ель	6,1	7,4	Тополь	9,4	10,6
Дуб	8,4	9,8	Ива	6,5	6,9

*Для рассеяннососудистых пород под ранней зоной годичного слоя подразумевается его первая половина, обращенная к сердцевине, а под поздней – вторая половина, обращенная к коре.

Сильно усыхающие поздние зоны стягивают ранние зоны и, в основном, определяют величину усушки всей древесины в тангенциальном направлении. Так, по данным В.П. Галкина (МЛТИ), полученным на микросрезах заболони сосны, тангенциальная усушка изолированных поздних и ранних зон составила соответственно 9,2 и 5,5 %, а усушка всей древесины в этом направлении была 8,5 %. По радиальному направлению усушка древесины равна средней (точнее – средневзвешенной величине) между усушками ранней и поздней зон. Ясно, что радиальная усушка древесины должна быть значительно меньше тангенциальной (рис. 26).

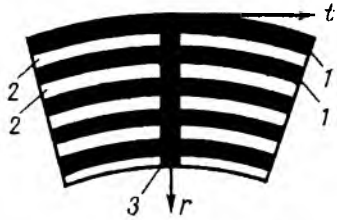


Рис. 26. Схема взаимного расположения элементов макроструктуры, влияющих на радиальную и тангенциальную усушку древесины поперек волокон:
1, *2* – поздние и ранние зоны годичных слоев; *3* – сердцевинный луч; *t* – тангенциальное направление; *r* – радиальное направление

На анизотропию усушки влияют также сердцевинные лучи (особенно, у лиственных пород). В стенках паренхимных клеток сердцевинных лучей микрофибриллы направлены под сравнительно малым углом к их длине. Поэтому продольная усушка сердцевинных лучей, по крайней мере, в 2 раза меньше поперечной. Сердцевинные лучи сдерживают усушку древесины в радиальном направлении (рис. 26). С увеличением содержания сердцевинных лучей радиальная усушка древесины снижается.

Усушка зависит от особенностей тонкого строения древесины. Отношение тангенциальной усушки к радиальной в ранней зоне годичных слоев составляет у хвойных пород 2–3 (у лиственницы даже 5), в то время как в поздней зоне указанное отношение примерно в 2 раза меньше. Наблюдаются большая поперечная усушка радиальных стенок клеток по сравнению с тангенциальными, различия в усушке отдельных слоев клеточной стенки и т. д.

Однако для практики наибольшее значение имеет анизотропия усушки сравнительно больших объемов древесины. При этом наблюдается обратная связь между анизотропией усушки и жесткостью древесины (модулем упругости). В направлении наибольшей жесткости, т. е. вдоль волокон, усушка наименьшая. Поперек волокон усушка больше в тангенциальном направлении, в котором жесткость меньше, чем в радиальном.

Показателем усушки является влажностная (несиловая) деформация. Под полной, или максимальной, усушкой β_{max} понимают уменьшение линейных размеров или объема древесины при удалении всего количества связанной воды. Следовательно, для установления β_{max} влажность древесины должна быть снижена от предела насыщения клеточных стенок до нуля. Произошедшее при этом уменьшение размеров (объема) образца относят к размеру (объему) образца при пределе насыщения клеточных стенок и выражается в процентах.

Формула для вычисления полной усушки, %, имеет вид

$$\beta_{max} = \frac{100(a_{max} - a_{min})}{a_{max}}, \qquad (8)$$

где a_{max} – размер (объем) образца при влажности равной или выше предела насыщения клеточных стенок, мм (мм^3); a_{min} – размер (объем) образца в абс. сух. состоянии, мм (мм^3).

Экспериментальное определение полной радиальной, тангенциальной и объемной усушки проводят согласно ГОСТ 16483.35–88 на образцах в виде четырехгранной прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

Годичные слои на торце образца должны быть параллельны соответствующей паре граней. Влажность образцов должна быть выше или равна пределу насыщения клеточных стенок. При меньшей влажности образцы вымачивают в дистиллированной воде при $t = 20 \pm 5$ °С. Через каждые 3 сут. измеряют соответствующий размер у двух-трех образцов из партии. После того как расхождение между результатами двух последних измерений окажется менее 0,02 мм, образец осушают с поверхности фильтровальной бумагой и определяют его окончательные поперечные размеры по серединам радиальных и тангенциальных поверхностей, а также при необходимости размер между торцами с погрешностью не более 0,01 мм. Таким образом устанавливают исходный размер a_{max} для определения тангенциальной или радиальной линейной усушки. Определение усушки вдоль волокон в виду ее малости стандартом не предусматривается.

Далее образцы, предварительно подсушенные в течение 2 сут. (во избежание растрескивания), досушивают до постоянных размеров, посте-

пенно поднимая температуру до 103 ± 2 °С. Изменение размеров двух-трех контрольных образцов проверяют повторными измерениями через 2 ч. после 6 ч. с начала высушивания. Сушку прекращают, когда разница между двумя последовательными измерениями будет не более 0,02 мм. Допускается прекращать сушку по достижении постоянной массы. У высушенных образцов по тем же направлениям после охлаждения в герметичных сосудах с гигроскопическим веществом измеряют новые размеры a_{min} и вычисляют по формуле (8) линейную (радиальную или тангенциальную) усушку $\beta_{r_{max}}$ или $\beta_{t_{max}}$. Результат округляют до 0,1 %. Объемную усушку $\beta_{V_{max}}$ определяют, подставляя в формулу вместо a_{max} и a_{min} произведение поперечных и продольного размеров образца или объем, измеренный ртутным объемомером, при $W \geq W_{п.н}$ и в абсолютно сухом состоянии.

Полная усушка древесины наиболее распространенных отечественных лесных пород в тангенциальном направлении составляет 8–10 %, в радиальном направлении 3–7 %, вдоль волокон 0,1–0,3 %. Полная объемная усушка находится в пределах 11–17 %. Для расчетов влажностной деформации необходимо располагать коэффициентом усушки, определяющим величину усушки при снижении содержания связанной воды в древесине на 1 %.

По стандарту принято, что усушка пропорциональна падению влажности от предела насыщения клеточных стенок $W_{п.н} = 30$ %. Коэффициент усушки K_β, % на 1 % влажности древесины, вычисляют по формуле

$$K_\beta = \frac{\beta_{max}}{30}. \qquad (9)$$

Результаты вычислений округляют до 0,01 % на 1 % влажности.

На самом деле зависимость $\beta = f(w)$ – нелинейна и усушка не всегда начинается от $W = 30$ %. Поэтому для более точных расчетов следует применять дифференциальный коэффициент усушки:

$$K'_\beta = \frac{d\beta}{dw}. \qquad (10)$$

По исследованиям, проведенным в последнее время в МГУЛ (совместно с Г.А. Горбачевой и Н.В. Скуратовым) на древесине дуба, бука, клена, груши, черешни, средний дифференциальный коэффициент усушки в области $W_{п.н}$ – 0 % меньше стандартного на 18–43 %, а в области $W_{п.н}$ – 20 % на 51–71 %.

Для определения частичной усушки, %, при высыхании древесины до нормализованной влажности, равной обычно 12 % используют формулу

$$\beta_{12} = \frac{100(a_{max} - a_{12})}{a_{max}}, \qquad (11)$$

где a_{12} – размер (объем) образца при нормализованной влажности, мм ($мм^3$).

При необходимости по формуле, аналогичной (11), можно определить частичную усушку β_W при снижении влажности до любого значения $W < W_{п.н}$, измерив размер (объем) образца a_W.

Об усушке древесины наиболее распространенных пород можно судить по данным, приведенным в табл. 15. Следует иметь в виду, что приводимые в изданной до начала 70-х годов справочной литературе, в том числе и в Руководящих технических материалах (РТМ) "Древесина, показатели физико-механических свойств" (1962), коэффициенты определены по усушке, величина которой исчислялась как отношение уменьшения размеров (объема) образца к его размеру (объему) в абсолютно сухом состоянии. Таким образом, в этих справочниках даются не коэффициенты усушки, а коэффициенты разбухания (см. ниже).

Коэффициент усушки K_β можно вычислить по коэффициенту разбухания K_α (принимая $W_{п.н} = 30\,\%$) по формуле

$$K_\beta = \frac{100 K_\alpha}{(100 + 30 K_\alpha)}, \qquad (12)$$

поэтому в табл. 15 наряду с известными значениями коэффициентов разбухания K_α из РТМ даны пересчитанные нами по формуле (12) средние значения коэффициентов усушки K_β. Необходимо учитывать, что это сильно изменчивые величины. Коэффициент вариации для этих показателей поперек волокон равен 28 % [9].

Если известны значения коэффициентов радиальной K_{β_r} и тангенциальной K_{β_t} усушки, то, принимая $W_{п.н} = 30\,\%$, можно достаточно точно определить значение коэффициента объемной усушки K_{β_v} по формуле

$$K_{\beta_v} = K_{\beta_r} + K_{\beta_t} - 0{,}3 K_{\beta_r} K_{\beta_t}. \qquad (13)$$

15. Коэффициенты усушки K_β и разбухания K_α древесины

Порода	Коэффициент усушки и разбухания %/% влажности					
	по объему		по радиальному направлению		по тангенциальному направлению	
	K_β	K_α	K_β	K_α	K_β	K_α
Лиственница	0,52	0,61	0,19	0,20	0,35	0,39
Сосна	0,44	0,51	0,17	0,18	0,28	0,31
Ель	0,43	0,50	0,16	0,17	0,28	0,31
Пихта сибирская	0,39	0,44	0,11	0,11	0,28	0,31
Кедр	0,37	0,42	0,12	0,12	0,26	0,28
Береза	0,54	0,64	0,26	0,28	0,31	0,34
Бук	0,47	0,55	0,17	0,18	0,32	0,35
Клен	0,46	0,54	0,19	0,20	0,29	0,32
Ясень	0,45	0,52	0,18	0,19	0,28	0,31
Дуб	0,43	0,50	0,18	0,19	0,27	0,29
Осина	0,41	0,47	0,14	0,15	0,28	0,30

Усушку в направлении промежуточном между радиальным и тангенциальным можно найти по формуле

$$\beta_\theta = \beta_r \sin^2\theta + \beta_r \cos^2\theta, \qquad (14)$$

где θ – угол между направлением измерения и радиальным направлением.

От усушки следует отличать сморщивание древесины (коллапс), которое происходит у нагретой древесины вследствие удаления свободной воды при влажности $W > W_{п.н}$. По исследованиям ВЛТИ у дуба при 70–80 °С сильно сморщиваются желатинозные волокна и древесинная паренхима. Встречается коллапс и у других лиственных пород (маньчжурский ясень и др.).

Наблюдаемое при сушке уменьшение размеров пиломатериалов следует называть у с а д к о й. Она включает кроме собственно усушки, деформацию от сушильных напряжений и, возможно, коллапс. По данным Е.А. Пинчевской коллапс существенно увеличивает усадку дубовых досок по их толщине. Усадка древесины учитывается при распиловке бревен на доски (припуски на усушку), сушке пиломатериалов и шпона.

Внутренние напряжения в древесине. Внутренними принято называть напряжения, возникающие без участия внешних нагрузок в результате неодинаковых изменений объема; они уравновешены в пределах данного тела. При высыхании древесины образуются с у ш и л ь н ы е напряжения. Согласно концепции автора (1953 г.), воспринятой у нас и за рубежом [67], п о л н ы е сушильные напряжения рассматриваются как совокупность двух составляющих – влажностных и остаточных напряжений. В л а ж н о с т н ы е напряжения вызваны неоднородной усушкой материала. В по-

верхностных зонах доски, где влажность ниже, чем в центре, из-за стеснения усушки возникают растягивающие напряжения, а внутри доски – сжимающие. Остаточные напряжения обусловлены появлением в древесине неоднородных остаточных деформаций. Они вызваны не только тем, что древесина не идеально упругий материал, но и тем, что при сушке вследствие увеличения жесткости нагруженной древесины образуются очень большие "замороженные" остаточные деформации из-за перерождения части упругих деформаций. Остаточные напряжения в отличие от влажностных не исчезают при выравнивании влажности в доске.

Знаки влажностных и остаточных напряжений противоположны, и результирующие полные напряжения представляют собой алгебраическую сумму. В первом периоде сушки влажностные напряжения больше остаточных, и полные напряжения, имея знак большей составляющей, проявляются как растягивающие у поверхности сортимента и сжимающие – внутри. Во втором периоде остаточные напряжения превышают влажностные, и результирующие напряжения меняют знак.

Если растягивающие напряжения достигают предела прочности древесины на растяжение поперек волокон, появляются трещины. Так образуются поверхностные трещины в начале сушки и внутренние трещины (свищи) в конце её. Эти трещины (наружные и внутренние) обычно имеют радиальное направление, так как разрыв тканей происходит вдоль сердцевинных лучей вследствие сравнительно слабой связи между ними и древесными волокнами.

Остаточные напряжения, сохраняющиеся в высушенном материале, могут стать причиной изменения заданной формы деталей при механической обработке древесины.

Количественная характеристика остаточных напряжений может быть установлена с помощью разработанного автором [70] и позднее стандартизованного (ГОСТ 11603–73) метода. Из доски на расстоянии 0,3 м от торца выпиливают три секции Д, М и В толщиной (по волокну) 15 мм, захватывая все сечение. Секцию В немедленно взвешивают для определения начальной влажности. Затем у всех трех секций выравнивают влажность (неравномерность не должна превышать 1 %), доводя ее до нормализованного значения (≈12 %) выдержкой при комнатной или повышенной до 60 °С температуре и соответствующей влажности воздуха. Секцию В вновь взвешивают для определения влажности в момент испытаний. Секцию Д размечают на слои – полоски толщиной 4 мм. На коротких кромках секции делают наколы. Начальную длину слоев a_1 (рис. 27, а) измеряют с погрешностью до 0,01 мм индикаторной скобой, вводя острия ее наконечников в наколы (заплечики на штифтах препятствуют внедрению остриев в древесину). Затем секцию раскалывают на слои, которые (особенно крайние) заметно изгибаются (рис. 27, б). Для измерения конечной длины a_2 их

предварительно выпрямляют в струбцине (рис. 27, в). Деформацию ε вычисляют, округляя результат до 10^{-4} по формуле

$$\varepsilon = \frac{(a_1 - a_2)}{a_1}. \qquad (15)$$

Секцию М распиливают на образцы толщиной примерно 8 мм, по которым при испытаниях на изгиб определяют модуль упругости (рис. 27, г). Образец нагружают ступенчато. Расстояние между нажимными ножами составляет половину пролета *l*. Величина ступени нагрузки при пролете до 14 см для хвойных пород 2,5 Н*, для лиственных пород и лиственницы – 5,0 Н; при больших пролетах нагрузка в 2 раза меньше. Нагружение проводят до явного нарушения пропорциональной зависимости между усилиями и прогибами.

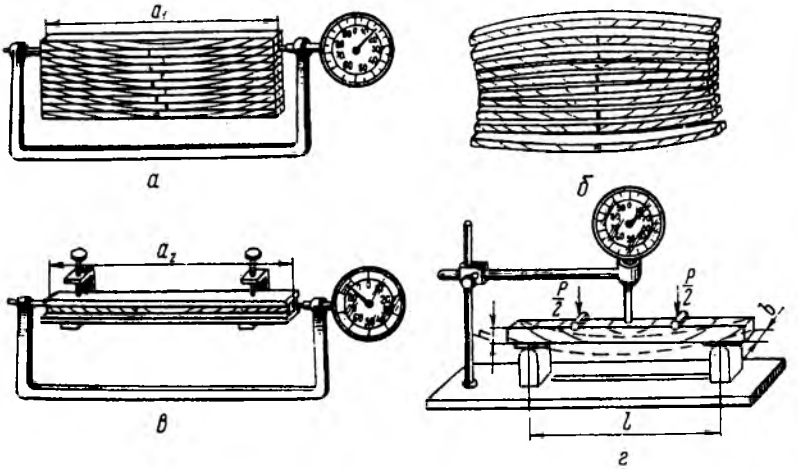


Рис. 27. Определение остаточных напряжений в древесине:
а – измерение начальной длины слоев; *б* – вид слоев секции после раскроя; *в* – измерение конечной длины слоев; *г* – определение модуля упругости

Для каждой четной ступени нагрузки измеряют прогиб образца *f* с погрешностью до 0,01 мм и определяют модуль упругости в ГПа с точностью до 10 МПа** по формуле

$$E = \frac{11Pl^3}{64bh^3 f}, \qquad (16)$$

---

* В системе СИ усилия выражаются в ньютонах (Н). С округлением можно считать, что 1 кгс=10 Н (точно 1 кгс=9,80665 Н).

** 1 МПа=10^6 Н/м^2≈10 кгс/см^2.

где P – нагрузка на оба ножа, Н; b и h – соответственно ширина и высота образца, мм; l – пролет, см; f – прогиб, мм.

По полученным значениям E для отдельных ступеней нагрузки вычисляют среднее значение модуля упругости каждого образца секции. Для построения эпюры напряжений (рис. 28) на диаграмме наносят кривые распределения деформаций (пунктирная линия) и модуля упругости. На основании данных о величине ε и E вычисляют напряжения для каждого слоя, округляя результат до 0,01 МПа, по формуле

$$\sigma = -E\varepsilon. \qquad (17)$$

Внутренние напряжения противоположны по знаку измеренной упругой деформации, поэтому перед правой частью формулы стоит "минус".

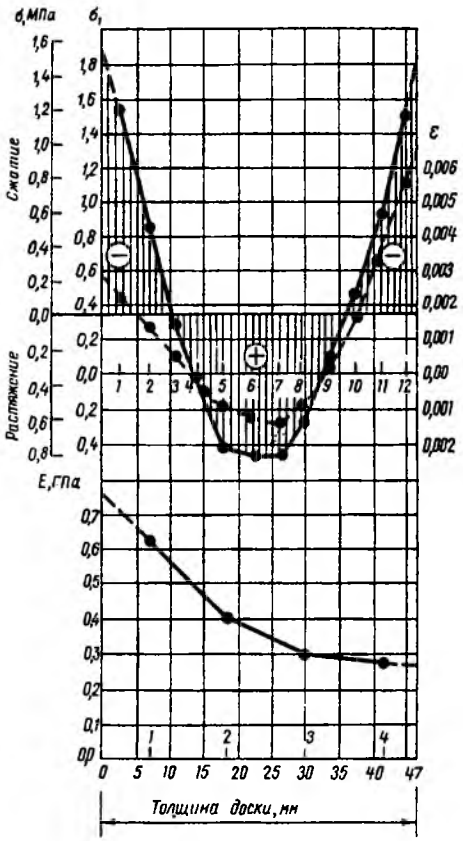


Рис. 28. Эпюра остаточных напряжений в сосновой доске после камерной сушки

В связи с тем, что при выпрямлении слоев перед измерением конечной длины образуются дополнительные деформации, нулевую линию перемещают вверх настолько, чтобы сумма площадей эпюры над ней оказалась равной площади под ней (условие равновесия). Напряжения отсчитывают по второй шкале эпюры. На рис. 28 изображена эпюра остаточных напряжений в сосновой доске после камерной сушки (влажность 9 %).

Величина остаточных напряжений зависит от способа и режима сушки. Чем интенсивней процесс сушки, тем выше остаточные напряжения. Так, после атмосферной сушки сосновых и еловых пиломатериалов сжимающие напряжения в поверхностных зонах не превышали 0,5 МПа, а

растягивающие во внутренней зоне – 0,2 МПа. После камерной сушки напряжения в поверхностных и внутренней зоне у тех же досок доходили соответственно до 4,4 и 1,7 МПа. У твердых лиственных пород и лиственницы остаточные напряжения выше, чем у остальных пород, например, у бука сжимающие напряжения составляли 7,2 МПа.

Описанным выше способом устанавливают средние по ширине доски напряжения. Для определения максимальных напряжений найденные величины надо умножить на коэффициент 1,3.

Стандартизованный метод с некоторыми усложнениями (учет усушки в процессе испытаний и предохранение от высыхания образцов для измерения модуля упругости) может быть использован для измерения полных напряжений в процессе атмосферной сушки и низкотемпературной камерной сушки, а также после окончания любых видов сушки (при невыравненной по сечению сортимента влажности). Внутренние напряжения могут появляться в древесине не только при сушке, но и при пропитке ее жидкостями, а также в процессе роста дерева.

Коробление древесины. Изменение заданной формы пиломатериалов и заготовок при сушке, а также выпиловке и хранении называется к о р о б л е н и е м.

Вследствие анизотропии усушки так называемое структурное коробление может наблюдаться в поперечной и продольной плоскостях сортимента. В чистом виде поперечное коробление проявляется при удалении воды через торцовые поверхности очень коротких сортиментов. Возникающая при этом поперечная покоробленность (рис. 29) зависит от разницы в радиальной и тангенциальной усушке, а также от расположения годичных слоев на торце сортимента. Форма поперечного сечения покоробленных досок может быть определена по уравнениям

$$\left.\begin{aligned} u &= -\Delta W\left[K_r x - \left(K_r - K_t\right) y \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{y}\right)\right] \\ \mathrm{v} &= -\Delta W\left[K_r y + \left(K_r - K_t\right) x \operatorname{arctg}\left(\frac{x}{y}\right)\right] \end{aligned}\right\}, \qquad (18)$$

где u и v – компоненты перемещения точек поперечного сечения сортимента после высыхания (рис. 28, а); x и y – координаты точек до высыхания; K_r и K_t – коэффициенты радиальной и тангенциальной усушки; $\Delta W = W_{\text{п.н}} - W_{\text{к}}$ – перепад влажности между пределом насыщения клеточных стенок $W_{\text{п.н}}$ и конечной влажностью $W_{\text{к}}$.

Эти уравнения получены Г.Н. Петрухиным (МЛТИ) на основании теории упругости. Из них следует, что все доски, кроме чисто радиальных,

после высыхания будут иметь желобчатую форму (рис. 29, а). Для определения стрелы прогиба П.А. Афанасьевым еще в 1879 г. была получена формула, также вытекающая из уравнения (18). Прогиб тем больше, чем ближе доска к сердцевине. Максимальная стрела прогиба доски, на нижней пласти которой находится сердцевина, при ширине B может быть определена по формуле

$$f_{max} = \frac{\pi}{2}(W_{п.н} - W_к)(K_t - K_r)\frac{B}{2}. \qquad (19)$$

На рис. 29, б, в, г показаны и другие виды поперечной покоробленности: трапециевидная – у строго радиальных досок, ромбовидная – у брусьев с диагональным расположением годичных слоев, овальная – у цилиндрических заготовок.

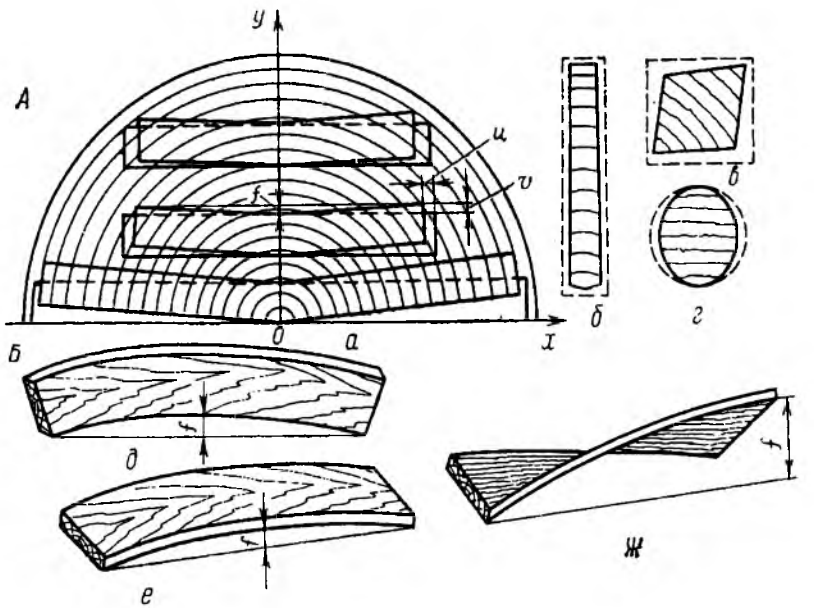


Рис. 29. Виды покоробленности:
А – поперечная: *а* – желобчатая; *б* – трапециевидная; *в* – ромбовидная; *г* – овальная; *Б* – продольная: *д* – по кромке; *е* – по пласти; *ж* – крыловатость

Продольная покоробленность возникает из-за различий в усушке по длине волокон. Покоробленность по кромке (рис. 29, д) и пласти (рис. 29, е) возникает, если в доске оказываются участки разной по строению древесины. Такая покоробленность встречается, например, у досок,

включающих участки креневой* или примыкающей к сердцевине молодой (ювенильной) древесины, которые обладают большей усушкой вдоль волокон, чем нормальная древесина. Спиральная покоробленность – крыловатость появляется у древесины с наклоном волокон*. Поперечную желобчатую и продольную покоробленность измеряют по максимальной стреле прогиба, а крыловатость – по наибольшему отклонению поверхности доски от плоскости.

При высыхании сравнительно длинных сортиментов вода удаляется в основном через их боковые поверхности и поперечное коробление происходит также вследствие неравномерного распределения влажности по сечению. Покоробленность, вызванная этой причиной, при выравнивании влажности по сечению доски исчезает. В высушенном материале из-за нарушения равновесия остаточных напряжений происходит коробление при несимметричном строгании (фрезеровании) досок или их ребровом делении.

Коробление досок может наблюдаться и при распиловке сырых бревен из-за напряжений, имеющихся в растущем дереве. Иногда причиной коробления досок является неправильная укладка их в штабеля при атмосферной и камерной сушке, увлажнение при хранении и др.

Способность древесины к короблению – серьезный недостаток, затрудняющий ее обработку и использование в конструкциях и изделиях в условиях переменной влажности. Коробление досок при сушке можно уменьшить путем приложения внешних усилий (от веса вышележащих частей штабеля или при помощи специальных прижимов).

Влагопоглощение. Способность древесины вследствие ее гигроскопичности поглощать влагу (пары воды) из окружающего воздуха называется влагопоглощением.

Процесс влагопоглощения складывается из сорбции паров воды основными органическими веществами клеточной стенки и перемещения образовавшейся связанной воды в глубь древесины. Сорбция, в свою очередь, включает явления адсорбции и микрокапиллярной конденсации. При соприкосновении влажного воздуха с абсолютно сухой древесиной на поверхности мельчайших структурных образований из целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз концентрируются молекулы воды. Сначала происходит связывание влаги в мономолекулярном слое (толщиной в одну молекулу воды), который особенно прочно удерживается органическими веществами древесины. Затем появляется полимолекулярный слой с постепенно убывающей прочностью связей между молекулами воды и компонентами древесины. Так образуется находящаяся в пленочном состоянии адсорбционная вода, по своим свойствам отличающаяся от обычной воды.

При сорбции влаги происходит контракция, выражающаяся в том, что объем увлажненной древесины оказывается меньше суммы объе-

---

* Крень и наклон волокон – пороки строения древесины (описаны в гл. 7).

мов сухой древесины и поглощенной воды. Плотность первых порций адсорбированной воды составляет 1,1–1,2 г/см^3. Известна теория строения обычной воды, по которой в ее состав кроме свободных молекул входят к л а с т е р ы – постоянно образующиеся и распадающиеся агрегаты молекул [32]. Плотность кластеров 0,92 г/см^3, а неагрегатированной воды – 1,12 г/см^3. Компоненты древесины разрушают кластеры и увеличивают относительное содержание неагрегатированной части воды, тем самым повышая общую ее плотность. Адсорбционная вода похожа по упругим свойствам на твердое тело, она не растворяет обычно растворимые в воде вещества, неэлектропроводна, по диэлектрической проницаемости близка к древесине, а по теплоемкости – ко льду. Мономолекулярные слои адсорбционной воды в древесине не замерзают [81].

Кроме явления адсорбции происходит конденсация паров воды в микрокапиллярах (микроуглублениях) клеточной стенки.

Типичная кривая изменения содержания связанной воды в древесине при сорбции в зависимости от степени влажности окружающего воздуха в условиях комнатной температуры (изотерма сорбции) показана на рис. 30. Начало изотермы отражает процесс связывания воды в мономолекулярном слое. Этот процесс завершается при $\varphi > 20$ % (по некоторым данным идет до $\varphi = 60$ %) и лишь затем появляется полимолекулярный слой. Микрокапиллярная конденсация начинается с $\varphi = 60$–90 %. По данным Б.С. Чудинова [82] это φ составляет 70 %. При φ, приближающемся к 100 % влажность древесины достигает предела гигроскопичности, который, как указывалось выше, при комнатной температуре в среднем равен 30 %, а при повышении температуры снижается примерно на 0,1 % на 1 °С.

Теоретические аспекты влагопоглощения древесины освещены в монографии С.Р. Лоскутова [46].

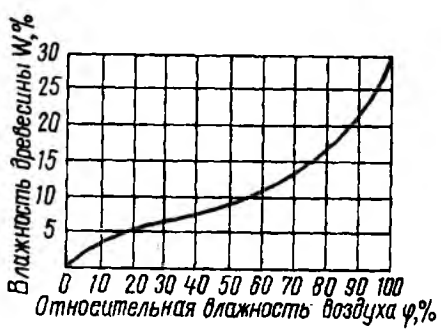


Рис. 30. Изотерма сорбции древесины при комнатной температуре

Сорбционная способность в большей мере выражена у гемицеллюлоз, слабее – у целлюлозы и еще меньше у лигнина [32]. Повышенную способность гемицеллюлоз к поглощению влаги подтверждают исследования И.И. Пищика (МЛТИ) древесины длительной выдержки (до 700 лет). При "старении" древесины, вызывающем уменьшение содержания гемицеллюлоз, происходит снижение ее гигроскопичности.

Влагопоглощение ядра и заболони примерно одинаково. По сорбционной способности кора мало отличается от древесины. Влажность древесины, которая может быть достигнута в процессе влагопоглощения при разной температуре, определяется по диаграмме (см. рис. 24).

Для получения сравнительной характеристики хода процесса увлажнения древесины проводят испытания согласно ГОСТ 16483.19–72, который устанавливает метод определения влагопоглощения при выдерживании образцов над насыщенным раствором соды. Образцы в виде прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 10 мм, высушивают в бюксах до абсолютно сухого состояния и взвешивают с точностью до 0,001 г. На дно эксикатора наливают насыщенный раствор соды ($Na_2CO_3 \cdot H_2O$), что обеспечивает относительную влажность воздуха над раствором $\varphi = 92$ %. Применение раствора соды вместо чистой воды уменьшает возможность конденсации паров воды при колебаниях температуры во время испытаний. Образцы помещают в эксикатор и периодически извлекают для взвешивания через 1, 2, 3, 6, 9, 13, 20 и далее через 10 сут. Минимальная продолжительность выдержки должна быть 30 сут. Испытание заканчивают, когда разность между двумя последними взвешиваниями окажется не более 0,002 г. По результатам взвешивания определяют текущую влажность образца с погрешностью 1 % и строят график "влажность древесины – время выдержки". Этот график, на котором влажность возрастает с убывающей скоростью, а также максимальная влажность древесины служат характеристикой влагопоглощения.

Способность к поглощению влаги – отрицательное свойство древесины. Высушенная древесина в изделиях "дышит", изменяя содержание связанной воды при колебаниях температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Будучи помещенной в очень влажную среду, она сильно увлажняется, что ухудшает ее физико-механические характеристики и приводит к ряду других нежелательных последствий. Создаваемые на поверхности деревянных деталей и изделий декоративные покрытия из лакокрасочных и пленочных материалов выполняют также влагозащитные функции. Однако более радикальное средство уменьшения гигроскопичности древесины – ее модификация путем пропитки искусственными смолами.

Разбухание. Повышение содержания связанной воды в древесине при выдерживании во влажном воздухе или воде сопровождается увеличением линейных размеров и объема древесины. Это явление называется р а з б у х а н и е м. Таким образом, разбухание древесины – свойство, обратное усушке и подчиняющееся в основном тем же закономерностям.

Экспериментальное определение полного радиального, тангенциального и объемного разбухания проводят согласно ГОСТ 16483.37–88, используя оборудование и процедуру (в иной последовательности), применяемые для определения усушки. Однако способы вычисления показателей другие.

Полное разбухание, %, вычисляют, округляя результат до 0,1 % по формуле

$$\alpha_{max} = \frac{100(a_{max} - a_{min})}{a_{min}}, \quad (20)$$

где a_{max} – размер (объем) образца при влажности, равной или выше предела насыщения клеточных стенок, мм($м^3$); a_{min} – размер (объем) образца в абсолютно сухом состоянии, мм($м^3$).

Следовательно, увеличение размеров образца относят к его исходному размеру в абсолютно сухом состоянии.

Коэффициент разбухания вычисляют, округляя результат до 0,01 % на 1 % влажности по формуле

$$K_{\alpha} = \frac{\alpha_{max}}{W_{п.н}}, \quad (21)$$

где $W_{п.н}$ – предел насыщения клеточных стенок (равный в среднем 30 %).

Как и для усушки, предусматривается возможность определения частичного разбухания древесины при увлажнении до нормализованной влажности (12 %). В этом случае разбухание, %, вычисляют по формуле

$$\alpha_{12} = \frac{100(a_{12} - a_{min})}{a_{min}}, \quad (22)$$

где a_{12} – размер (объем) образца при нормализованной влажности, мм($м^3$).

При необходимости по аналогичной формуле (22) можно вычислить частичное разбухание в случае повышения влажности до любого другого значения, меньшего $W_{п.н}$.

Средние значения коэффициентов разбухания древесины основных пород в радиальном и тангенциальном направлениях, а также по объему приведены в табл. 15. Коэффициенты объемного разбухания можно определить по формуле, аналогичной (13), но только со знаком "+" перед последним членом.

Так же как и усушка, наибольшее разбухание древесины наблюдается в тангенциальном направлении поперек волокон, а наименьшее – вдоль волокон.

Коэффициенты объемного разбухания коры, определенные методом высушивания, [42] оказываются выше, чем у древесины. Так, у сосны древесина имеет K_{α}, равный в среднем 0,51, а кора 0,66; у ели соответственно 0,5 и 0,79; у березы 0,64 и 0,92 % на 1 % влажности.

Разбухание древесины вызвано тем, что связанная вода, размещаясь в клеточных стенках, раздвигает микрофибриллы. Хотя в среднем между

количеством поглощенной связанной воды и величиной разбухания существует прямая, близкая к линейной, зависимость, наблюдаются некоторые отклонения. Так, например, при сорбции в воздухе первых порций влаги, когда влажность увеличивается от 0 до 0,7 % у древесины лиственницы в тангенциальном направлении обнаружено [82] не увеличение, а уменьшение размеров образца ("отрицательное" разбухание). Строгая пропорциональная зависимость отсутствует и при дальнейшем увеличении влажности до 5–6 %, что связывают с контракцией системы древесина – вода. При более высокой влажности порядка 20 % Ю.М. Иванов наблюдал у образцов древесины сосны и бука вслед за увеличением размеров вдоль волокон их укорочение. Кривые зависимости усушки и разбухания от влажности не совпадают из-за гистерезиса разбухания (аналогичного гистерезису сорбции). Сложный механизм явлений разбухания пока еще полностью не выяснен.

С давних пор известна способность древесины при стеснении разбухания развивать большие давления: разбухающими от воды деревянными клиньями раскалывали камни. Первое научное исследование этого свойства древесины провел еще в 1813 г. В.В. Петров. В наше время определением величины давления набухания, возникающего вследствие препятствий свободному увеличению размеров (объема) древесины при поглощении связанной воды, занимались Ю.М. Иванов, Т. Перкитный, Я. Рачковский, Г.С. Вердиньш и другие исследователи.

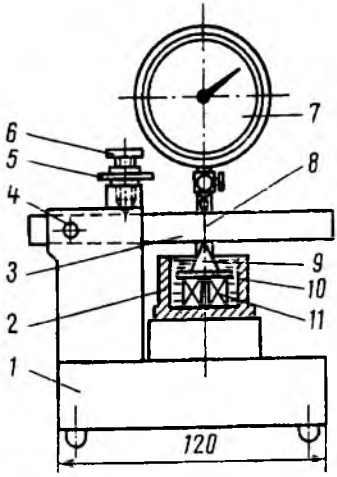


Рис. 31. Схема прибора для измерения давления набухания древесины:
1 – станина; *2* – стакан; *3* – рычаг; *4* – ось рычага; *5* – контргайка; *6* – упорный винт; *7* – индикатор; *8* – риска на рычаге; *9* – призма; *10* – прокладка; *11* – образец

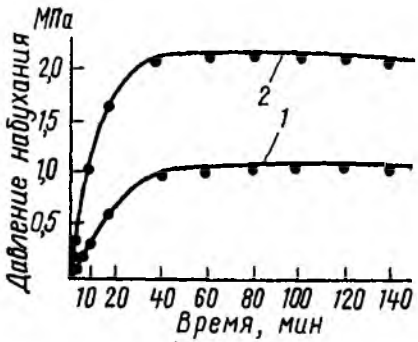


Рис. 32. Измерение давления набухания во время испытаний древесины ядра сосны:
1 – в радиальном; *2* – в тангенциальном направлении (по Ю.М. Иванову)

По стандартизованной методике (ГОСТ 16483.14-72) определение давления набухания проводят следующим образом. Два образца в виде призмы основанием 12×12 мм и толщиной вдоль волокон 8 мм, выпиленные из одного бруска, в сушильном шкафу доводят до абсолютно сухого состояния, охлаждают и испытывают в приборе, схема которого дана на рис. 31. Образцы 11 помещают в стакан 2. Поверх образцов размещают металлическую прокладку 10 и призму 9. Ребро призмы должно находиться под риской 8 рычага 3, ось которого 4 заключена в шарикоподшипник. На рычаг у риски опирают штифт индикатора часового типа 7 с погрешностью до 0,001 мм. Рычаг прижимают к ребру призмы и закрепляют винтом 6. В стакан наливают воду и включают секундомер. Усилия, возникающие от стеснения деформаций разбухания, вызывают прогиб заранее тарированного упругого элемента – рычага 3. Прогиб рычага составляет весьма небольшую долю от свободной деформации разбухания и не отражается существенно на величине измеряемого усилия. Испытания проводят до тех пор, пока приращение прогиба окажется меньше 4 мкм.

Зная тарировочный коэффициент, по прогибу рычага определяют величину усилий и, разделив ее на суммарную площадь поверхности обеих образцов, вычисляют давление набухания в данный момент испытаний. По полученным данным строят график зависимости давления набухания от времени испытаний (рис. 32). Показателем исследуемого свойства древесины служит максимальная величина давления набухания. На том же приборе можно определить ход роста (кинетику) деформаций свободного разбухания в радиальном или тангенциальном направлениях.

Величина давления набухания некоторых пород по данным Ю.М. Иванова приведена в табл. 16. Давление набухания зависит от плотности древесины. Чем больше содержится в единице объема древесинного вещества, слагающего клеточные стенки, тем выше давление набухания. Расчеты показывают, что этот показатель для самого древесинного вещества может достигать нескольких десятков МПа. Поскольку измеряемое на образцах древесины давление набухания зависит от податливости клеточных стенок, оно по крайней мере на порядок меньше.

В тангенциальном направлении у хвойных пород давление набухания примерно в 1,5–2 раза выше, чем в радиальном (рис. 31). Такое же соотношение характерно для некоторых лиственных пород (дуб). Однако для ряда рассеяннососудистых лиственных пород не наблюдается увеличения давления набухания в тангенциальном направлении по сравнению с радиальным. Это указывает на то, что не только стесненная влажностная деформация, но и жесткость древесины в данном структурном направлении определяет величину давления набухания. Об этом свидетельствует также уменьшение давления набухания при повышении температуры, что вызывает снижение жесткости древесины.

Древесина разбухает при поглощении не только воды, но и других жидкостей, причем величина разбухания прямо зависит от диэлектрической постоянной жидкости. Например, при поглощении 30 % раствора формамида (диэлектрическая постоянная формамида в 1,35 раза больше, чем воды) разбухание березы в 1,2 раза больше, чем от воды, а при поглощении ацетона, имеющего в 4 раза меньшую диэлектрическую постоянную, разбухание древесины сосны в 1,5 раза меньше, чем от воды. Практически не вызывают разбухания древесины такие жидкости, как керосин, диэлектрическая постоянная которого в 40 раз меньше, чем у воды.

Полное тангенциальное и радиальное разбухание древесины лиственницы от толуола соответственно равны лишь 0,4 и 0,3 % [46].

16. Давление набухания древесины некоторых пород, МПа

Порода, зона древесины	Средняя плотность в абс. сух. сост., кг/м^3	Структурное направление	Температура,°С	
			18–20	83–86
Сосна:				
заболонь	540	Тангенциальное	1,98	0,94
ядро	620	То же	–	1,44
ядро	620	Радиальное	–	0,76
Лиственница:				
заболонь	530	Радиальное	0,74	–
ядро	710	—"—	0,91	–
Бук	760	Тангенциальное	3,87	1,82
Ольха	490	То же	1,86	–
—"—	490	Радиальное	1,42	–
Дуб:				
ядро	640	Тангенциальное	3.10	–
ядро	640	Радиальное	1,54	–

Разбухание древесины зависит от содержания и степени гигроскопичности входящих в клеточные стенки компонентов. Большую роль играет характер размещения и взаимосвязей компонентов древесины.

Способность древесины разбухать в некоторых случаях полезна, так как она обеспечивает уплотнение соединений в бочках, чанах, деревянных трубах, судах и т. д. Однако чаще всего из-за разбухания и связанного с ним коробления возникают серьезные затруднения при обработке и использовании древесины. Модифицирование древесины, уменьшающее ее гигроскопичность, снижает и разбухание.

Водопоглощение. Вследствие пористого строения при непосредственном контакте с водой древесина способна увеличивать свою влажность. Это свойство древесины называется водопоглощением. Максимальная влажность, которой достигает погруженная в воду древесина, складывается из наибольших количеств связанной воды (предел насыщения клеточных стенок) и свободной воды. Количество свободной воды зависит от объема пустот в древесине, поэтому чем больше плотность древе-

сины, тем меньше ее влажность, характеризующая максимальное водопоглощение.

Максимальную влажность, %, определяют по формуле

$$W_{max} = W_{п.н} + \frac{(\rho_{д.в} - \rho_0)\rho_в}{\rho_{д.в} \cdot \rho_0} 100, \qquad (23)$$

где $W_{п.н}$ – влажность предела насыщения клеточных стенок, %; $\rho_{д.в}$ – плотность древесинного вещества, г/см^3; ρ_0 – плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, г/см^3; $\rho_в$ – плотность воды, г/см^3.

Первый член этой формулы характеризует максимальное количество связанной воды, второй – содержание свободной воды, заполняющей все пустоты в древесине.

Если неизвестно точное значение $W_{п.н}$, то максимальную влажность, %, можно вычислить по другой формуле:

$$W_{max} = \frac{(\rho_{д.в} - \rho_б)\rho_в}{\rho_{д.в} \cdot \rho_б} 100, \qquad (24)$$

где $\rho_б$ – базисная плотность древесины, г/см^3.

Принимая плотность воды 1 г/см^3 и используя средние значения базисной плотности, получим по формуле (24) ориентировочные значения максимальной влажности древесины некоторых пород (табл. 17).

17. Максимальная влажность древесины при водопоглощении

Порода	Влажность, %.	Порода	Влажность, %.
Лиственница	126	Граб	93
Сосна	185	Дуб	116
Ель	212	Береза	135
Кедр (сосна кедровая)	220	Осина	185
Пихта	268	Тополь	212

Расчетные значения W_{max} оказываются несколько выше найденных экспериментальным путем, так как за время даже очень продолжительных опытов не все пустоты внутри древесины заполняются водой из-за наличия смолы, закупорки сосудов тиллами и т. д.

Скорость процесса водопоглощения зависит от размеров и формы образца: чем крупнее образцы, тем медленнее этот процесс. Значительное время занимает выравнивание влажности по объему образца. Образцы с развитой торцовой поверхностью поглощают воду достаточно быстро. Процесс водопоглощения ускоряется с повышением температуры. Количество поглощенной воды зависит от древесиной породы, начальной

влажности образца, анатомической зоны (заболонь поглощает больше воды, чем ядро).

Экспериментальным путем способность древесины к водопоглощению устанавливается согласно методу, регламентированному ГОСТ 16483.20–72. Образцы в виде призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 10 мм высушивают до абсолютно сухого состояния. Затем образцы помещают стоймя под решетчатую вставку эксикатора с дистиллированной водой и выдерживают при 20±2 °С. Периодически образцы вынимают из воды, осушают поверхность фильтровальной бумагой и взвешивают в бюксах для определения текущей влажности в процессе водопоглощения. Первое взвешивание проводят после выдержки в воде в течение 2 ч, затем через 1, 2, 3, 6, 9, 13, 20 сут. после первоначального погружения, а далее – через каждые 10 сут. Опыт заканчивают, когда разница между двумя последовательными взвешиваниями окажется менее 0,05 г.

По результатам испытания строят график "влажность – время выдержки" (рис. 33). За показатель водопоглощения принимают максимальную влажность, достигнутую в процессе испытаний, продолжительность которых должна быть не менее 30 сут.

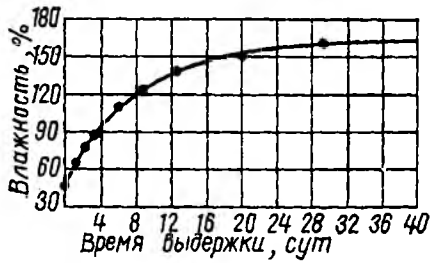


Рис. 33. Кривая водопоглощения древесины сосны

Представление о водопоглощении коры дают ориентировочные данные РТМ [27], полученные при выдержке в воде в течение 50 сут. (табл. 18).

18. Водопоглощение коры

Порода	Влажность, %	Порода	Влажность, %
Лиственница	149	Береза	63
Сосна	203	Бук	55
Ель	140	Клен	71
Дуб	117	Осина	95
Вяз	102	Тополь	158

Способность древесины поглощать воду, а также другие жидкости, имеет значение в процессах варки древесины для получения целлюлозы, при пропитке растворами антисептиков и антипиренов, при сплаве лесоматериалов и в других случаях.

§ 12. Плотность

Плотность характеризуется массой единицы объема материала и имеет размерность кг/м^3 или г/см^3.

Плотность древесинного вещества представляет собой массу единицы объема материала, образующего клеточные стенки. Поскольку элементный химический состав практически не зависит от породы и мало отличаются по плотности образующие клеточную стенку компоненты, плотность древесинного вещества в целом примерно одинакова. Однако величина этого показателя зависит от способа определения.

Плотность древесинного вещества $\rho_{д.в}$, г/см^3, в абсолютно сухом состоянии можно вычислить по формуле

$$\rho_{д.в.} = \frac{m_{д.в}}{V_{д.в}}, \qquad (25)$$

где $m_{д.в}$ – масса древесинного вещества, г; $V_{д.в}$ – объем древесинного вещества, см^3.

Пренебрегая массой воздуха, имеющего на три порядка меньшую плотность, чем древесинное вещество, можно определить достаточно точно $m_{д.в}$, взвешивая небольшой образец абсолютно сухой древесины на аналитических весах. Объем $V_{д.в}$ древесинного вещества в образце определить труднее. Для этого применяют способы, основанные на измерении объема вытесненной образцом жидкости или газа. Используют воду, не вызывающие разбухания древесины жидкости (бензол, толуол) или газы (гелий, азот). Точность определения объема древесинного вещества, содержащегося в образце, зависит от возможности проникновения жидкости или газа в пустоты древесины. Существенную роль при этом играет также степень молекулярного взаимодействия между средой и компонентами древесины.

То обстоятельство, что использование жидкостей (толуола, минерального масла) и газа (гелия) с очень малым радиусом молекулы, равным 0,122 нм, дает примерно одинаковые результаты определения объема, свидетельствует о практически полном отсутствии микропустот в клеточной стенке. Объем этих микропустот в среднем равен всего лишь 3–4 %. Такого мнения придерживается большинство исследователей [32, 82]. Плотность древесинного вещества, определенная по объему, измеренному в толуоле, минеральном масле или гелии, составляет 1,44–1,46 г/см^3.

В том случае, когда объем $V_{д.в}$ измеряется в воде, плотность древесинного вещества оказывается несколько выше. Это – следствие кажущегося уменьшения объема древесинного вещества из-за проникновения молекул воды в микрофибриллы. В мировой древесиноведческой литературе

наиболее широко применяется показатель плотности древесинного вещества, определенный именно таким способом и равный в среднем для всех пород 1,53 г/см^3. При взаимодействии древесинного вещества с неполярными жидкостями и газами следует применять в расчетах указанные выше меньшие значения $\rho_{д.в}$.

Способы определения плотности древесинного вещества описаны в монографии [57].

Плотность абсолютно сухой древесины характеризует массу единицы объема древесины при отсутствии в ней воды. Этот показатель вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, \tag{26}$$

где ρ_0 – плотность абсолютно сухой древесины г/см^3, кг/см^3; m_0 –масса образца древесины при $W = 0$, г, кг; V_0 – объем образца древесины при $W = 0$, см^3, м^3.

Плотность древесины меньше плотности древесинного вещества, так как она включает в себя пустоты (полости клеток и межклеточные пространства, заполненные воздухом).

Зависимость между ρ_0 и $\rho_{д.в}$ имеет вид

$$\rho_0 = \rho_{д.в}\left(1 - \frac{П}{100}\right), \tag{27}$$

где $П$ – пористость древесины, %.

Пористость древесины представляет собой относительный объем пустот в абсолютно сухой древесине, %, и определяется по формуле

$$П = \frac{V_0 - V_{д.в}}{V_0}100 = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{д.в}}\right)100, \tag{28}$$

где V_0 и $V_{д.в}$ – соответственно объемы образца и содержащегося в нем древесинного вещества при $W = 0$.

Пористость древесины наших пород колеблется в пределах 40–77 %.

Плотность влажной древесины выражается отношением массы образца при любой данной влажности к его объему при той же влажности. Формула для вычисления этого показателя имеет вид

$$\rho_W = \frac{m_W}{V_W}, \tag{29}$$

где ρ_W – плотность древесины при влажности W, г/см^3, кг/м^3; m_W – масса образца древесины при влажности W, г, кг; V_W – объем образца древесины при влажности W, см^3, м^3.

Увлажнение абсолютно сухой древесины приводит к увеличению массы образца. При этом повышение содержания связанной воды вызывает одновременное увеличение объема образца. Увеличение содержания свободной воды отражается только на массе образца. Зависимости между плотностью влажной древесины ρ_W и плотностью абсолютно-сухой древесины ρ_0 имеют вид

$$\rho_W = \rho_0 \frac{100 + W}{K_\alpha W + 100} \qquad \text{при } W < 30\,\%; \tag{30}$$

$$\rho_W = \rho_0 \frac{100 + W}{K_\alpha \cdot 30 + 100} \qquad \text{при } W \geq 30\,\%; \tag{31}$$

где K_α – коэффициент объемного разбухания, % на 1 % влажности древесины.

Характер зависимости плотности древесины от влажности иллюстрирует рис. 34. Повышение содержания связанной воды (до $W = 30\,\%$) мало влияет на плотность древесины. Увеличение содержания свободной воды приводит к повышению плотности древесины. Возрастание плотности зависит от объема пустот, которые могут быть заполнены водой, поэтому достигаемая при водопоглощении максимальная плотность древесины $\rho_{W_{max}}$ больше отличается от ρ_0 у менее плотных пород. Так, у кизила отношение этих показателей составляет 1,38. У сосны же максимальная плотность превышает плотность абсолютно сухой древесины в 2,4 раза.

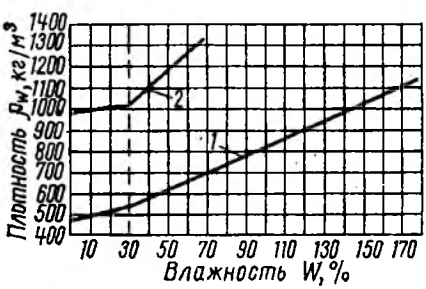


Рис. 34. Зависимости плотности древесины от влажности:
1 – сосна: $\rho_0 = 470$ кг/м^3, $K_\alpha = 0{,}51$ % /%
2 – кизил: $\rho_0 = 963$ кг/м^3, $K_\alpha = 0{,}78$ % /%

Плотность древесины при нормализованной влажности выражается отношением массы образца при влажности обычно равной 12 % к его объему при той же влажности; обозначается ρ_{12}.

Парциальная плотность древесины выражается отношением массы абсолютно сухого образца к его объему при любой данной влажности. В общем случае влажная древесина представляет собой трехфазную

систему, состоящую из древесинного вещества, воздуха и воды. Поэтому плотность влажной древесины можно выразить следующим образом:

$$\rho_W = \frac{m_{д.в} + m_{вз} + m_в}{V_W} = \frac{m_{д.в}}{V_W} + \frac{m_{вз}}{V_W} + \frac{m_в}{V_W}, \qquad (32)$$

где $m_{д.в}$ – масса древесинного вещества в образце древесины; $m_{вз}$ –масса воздуха в образце древесины; $m_в$ – масса связанной и свободной воды в образце древесины; V_W – объем образца древесины при данной влажности W.

Каждый член уравнения (32) характеризует соответствующую частичную (или, употребляя принятую в физике терминологию, – п а р ц и а л ь н у ю) плотность. Учитывая, что $m_{д.в} + m_{вз} = m_0$, получим уравнение

$$\rho_W = \frac{m_0}{V_W} + \frac{m_в}{V_W}. \qquad (33)$$

Первый член уравнения (33) отражает содержание (массу) сухой древесины в единице объема влажной древесины. Этот новый показатель и будем называть – п а р ц и а л ь н о й п л о т н о с т ь ю древесины, кг/м^3 или г/см^3:

$$\rho'_W = \frac{m_0}{V_W}. \qquad (34)$$

Зная плотность древесины ρ_W при данной влажности $W < W_{п.н}$, можно определить

$$\rho'_W = \rho_W \frac{100}{100 + W}. \qquad (35)$$

Парциальная плотность древесины зависит от влажности, которая влияет на величину V_W. Минимальное значение парциальной плотности наблюдается при наибольшем объеме V_{max}, т.е. при $W \geq W_{п.н}$. Принимая этот показатель в качестве базисного, обозначим $\rho'_{W_{п.н}} = \rho_б$. Тогда величину парциальной плотности древесины при любой влажности в диапазоне от $W = 0$ до $W_{п.н}$ можно определить по формуле

$$\rho'_W = \rho_б \frac{100}{100 - K_\beta (W_{п.н} - W)}, \qquad (36)$$

где K_β – коэффициент объемной усушки, % на 1 % влажности древесины.

Характер зависимости $\rho'_W = f(W)$, вытекающий из уравнения (36), при условии, что $W_{п.н} = 30\,\%$, показан на рис. 35. Максимальное значение парци-

альная плотность имеет при $W = 0$, когда она равна плотности абсолютно сухой древесины, следовательно, $\rho'_0 = \rho_0$.

Воздухоемкость древесины выражается отношением объема воздуха, заполняющего полости и межклеточные пространства, к объему образца древесины данной влажности. Этот показатель B_W, %, легко определить, зная парциальную плотность ρ'_W и влажность древесины W:

$$B_W = \left(\frac{V_W - V_{д.в} - V_в}{V_W}\right)100 = \left[1 - \rho'_W\left(\frac{1}{\rho_{д.в}} + \frac{W}{100\rho_в}\right)\right]100, \qquad (37)$$

где V_W – объем образца древесины при данной влажности; $V_{д.в}$ – объем древесинного вещества в образце; $V_в$ – объем связанной и свободной воды в образце; $\rho_{д.в}$ и $\rho_в$ – соответственно плотности древесинного вещества и воды.

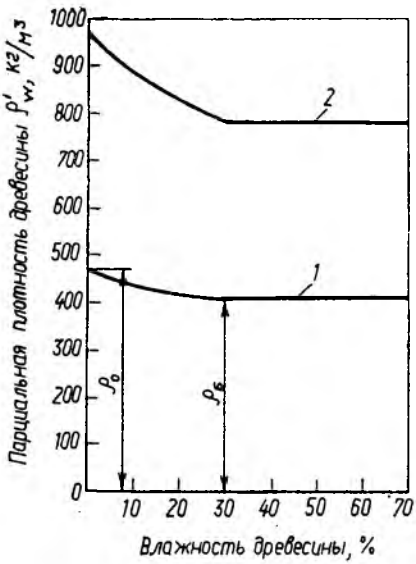


Рис. 35. Зависимость парциальной плотности древесины от влажности:
1 – сосна: $\rho_б$ = 407 кг/м³, K_{β_V} = 0,44 % /%
2 – кизил: $\rho_б$ = 963 кг/м³, K_{β_V} = 0,63 % /%

При $W = 0$ и $\rho'_W = \rho_0$ формула (37) превращается в формулу (28). Следовательно, воздухоемкость абсолютно сухой древесины B_0 равняется пористости П. Для древесины сосны при влажности 0; 12 и 100 % воздухоемкость составляет: $B_0 = 69$ %, $B_{12} = 66$ %, $B_{100} = 32$ %.

Базисная плотность древесины выражается отношением массы абсолютно сухого образца m_0 к его объему при влажности равной или выше предела насыщения клеточных стенок V_{max}. Следовательно базисная плотность, г/см³, кг/см³, равна:

$$\rho_б = \frac{m_0}{V_{max}}. \qquad (38)$$

Раньше это отношение минимальной массы образца к его максимальному объему называли условной плотностью древесины $\rho_{усл.}$, подчер-

кивая кажущуюся искусственность этой характеристики. На самом деле показатель $\rho_б$ имеет вполне определенный физический смысл, характеризуя количество (массу) сухой древесины или, что почти то же самое, массу древесинного вещества в единице объема свежесрубленной или максимально разбухшей древесины.

Базисный характер показателя $\rho_б$ проявляется в том, что он широко используется для расчетов процессов нагревания, сушки, пропитки древесины, определения содержания сухого вещества в древесном сырье для целлюлозно-бумажной промышленности и других целей. Этот показатель связан с плотностью абсолютно сухой древесины следующими соотношениями:

$$\rho_б = \rho_0\left(1-\frac{30K_\beta}{100}\right), \tag{39}$$

где K_β – коэффициент объемной усушки, % на 1 % влажности древесины.

и

$$\rho_б = \rho_0\left[\frac{100}{100+30K_\alpha}\right], \tag{40}$$

где K_α – коэффициент объемного разбухания, % на 1 % влажности древесины.

Если известна плотность древесины ρ_W, то базисную плотность можно вычислить по формулам:

$$\rho_б = \rho_W \frac{100(100+K_\alpha W)}{(100+W)(100+K_\alpha 30)} \qquad \text{при } W < 30\,\%; \tag{41}$$

$$\rho_б = \rho_W \frac{100}{100+W} \qquad \text{при } W \geq 30\,\%. \tag{42}$$

Экспериментально плотность древесины согласно ГОСТ 16483.1-84 и СТ СЭВ 388-76 определяют на образцах, имеющих форму четырехгранной прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Образец должен включать не менее пяти годичных слоев. При очень широких слоях (более 4 мм) следует увеличить размеры основания образца, сохраняя его квадратным. Смежные грани образцов должны располагаться строго под прямым углом. Поверхности образцов должны быть гладко остроганы. Образцы предварительно выдерживают до влажности 12±1 %. На каждом образце можно определить четыре показателя: плотность древесины при влажности в момент испытаний ρ_W, плотность абсолютно сухой древесины ρ_0, парциальную ρ'_W и базисную плотность древе-

сины $\rho_б$. При этом целесообразно проводить процедуру испытаний в следующем порядке.

Вначале измеряют фактические размеры поперечного сечения и высоту по осям симметрии образцов с точностью до 0,1 мм. Полученные данные используют для вычисления объема образца V_W, м^3. Взвешиванием образцов с погрешностью до 0,01 г определяют массу m_W, кг. Далее образцы увлажняют в дистиллированной воде при 10-20 °С до тех пор, пока разница в размерах образца при измерении их с интервалом в 3 сут. окажется менее 0,1 мм. По новым размерам образца, измеренным таким же образом, как и до увлажнения, определяют V_{max}, м^3. Затем образцы высушивают до постоянной массы с соблюдением требований, изложенных при описании способа определения влажности. Образцы в абсолютно сухом состоянии взвешивают с погрешностью до 0,01 г и записывают массу m_0, кг. Немедленно вслед за взвешиванием образцов измеряют их размеры и вычисляют объем V_0, м^3.

По полученным в процессе испытаний значениям m_W и V_W, используя формулу (29) вычисляют плотность ρ_W, округляя результат до 5 кг/м^3. Влажность W определяют по m_W и m_0, используя формулу (4) с погрешностью до 1 %.

Плотность абсолютно сухой древесины, парциальную и базисную плотность вычисляют, используя соответственно формулы (26), (34), (38) по найденным значениям m_0, V_0, V_W и V_{max}.

Кроме описанного метода определения плотности древесины на образцах в форме прямоугольной призмы можно определять плотность на образцах произвольной формы, используя для измерения объема образца ртутные объемомеры. Эти приборы основаны на измерении объема вытесненной из цилиндра ртути (несмачивающей древесину жидкости) при погружении в нее образца [70].

Базисную плотность древесины по сырым образцам неправильной формы (стружка, щепа и т.д., цилиндрические пробы из древесины растущего дерева) можно определить, измеряя их объем следующим способом [57]. Образец погружают в воду и с помощью весов измеряют усилие, препятствующее его всплытию. Принимая плотность воды за единицу, определяют объем образца, численно равный измеренной выталкивающей силе.

Поскольку плотность древесины существенно зависит от ее влажности, в справочниках приводятся значения плотности при нормализованной (стандартной) влажности. Раньше у нас стандартной влажностью принято было считать 15 %. Однако теперь показатели физико-механических свойств древесины определяются при влажности 12 % или пересчитываются на эту новую стандартную влажность.

Величина плотности древесины, кг/м^3, в зависимости от породы изменяется в очень широких пределах: древесину с очень малой плотностью имеет пихта сибирская из Восточной Сибири (345), ива белая (415) и др., а наиболее плотную – самшит (960), береза железная (970), саксаул (1040), ядро фисташки (1100).

По плотности древесины при 12 % влажности породы можно разделить на три группы: а) породы с малой плотностью (плотность 540 и менее): из хвойных – сосна, ель (все виды), пихта (все виды), кедр (все виды), можжевельник обыкновенный; из лиственных – тополь (все виды), липа (все виды), ива (все виды), осина, ольха черная и белая, каштан посевной, орех белый, серый и маньчжурский; бархат амурский; б) породы средней плотности (плотность 550–740): из хвойных – лиственница (все виды), тис; из лиственных – береза повислая, пушистая, желтая и черная; бук восточный и европейский, вяз, груша, дуб летний, восточный, болотный, монгольский; ильм, карагач, клен (все виды), лещина, орех грецкий, платан, рябина, хурма, яблоня, ясень обыкновенный и маньчжурский; в) породы высокой плотности (плотность 750 и выше): акация белая и песчаная, береза железная, гледичия каспийская, глоговина, гикори белый, граб, дзельква, дуб каштанолистный и араксинский, железное дерево, земляничное дерево, кизил, маклюра, саксаул белый, самшит, фисташка, хмелеграб.

Среди иноземных пород имеются такие, древесина которых имеет как очень малую плотность (бальза – плотность 120), так и очень высокую плотность (бакаут – плотность 1300, южноамериканское змеиное дерево – плотность более 1300).

Средние значения плотности древесины при нормализованной влажности ρ_{12}, абсолютно сухой древесины ρ_0 и базисной плотности $\rho_б$ для наиболее распространенных пород приведены в табл. 19.

В РТМ [27] и таблицах ССД* имеются более подробные сведения о плотности древесины с указанием вида древесной породы и района ее произрастания.

Следует учитывать, что приводимые в таблицах данные представляют собой средние показатели, вычисленные по сильно изменчивым величинам. Для оценки пределов их колебаний необходимо пользоваться статистическими характеристиками, приведенными в РТМ и таблицах ССД.

По плотности древесины при нормализованной влажности ρ_{12} можно определить другие показатели плотности, применяя формулы, приведенные в табл. 20. Для вывода этих формул были использованы соотношения (30), (31), (35), (41), (42). При этом все породы были разбиты на две группы: в первую отнесены породы, коэффициент объемного разбухания

---

* Таблицы стандартных справочных данных "Древесина. Показатели физико-механических свойств малых образцов без пороков".

которых (с округлением) равен 0,6 %, во вторую – породы с коэффициентом объемного разбухания 0,5 % на 1 % влажности древесины.

19. Средние значения плотности древесины

Порода	Плотность, кг/м³		Базисная плотность, кг/м³	Порода	Плотность, кг/м³		Базисная плотность, кг/м³
	ρ_{12}	ρ_0	$\rho_б$		ρ_{12}	ρ_0	$\rho_б$
Лиственница	665	635	540	Ясень обыкновенный	680	650	560
Сосна обыкновенная	505	480	415	Бук	680	650	560
Ель	445	420	365	Вяз	650	620	535
Кедр (сосна кедровая)	435	405	360	Береза	640	620	520
Пихта сибирская	375	350	310	Орех грецкий	590	560	490
Граб	795	760	640	Ольха	525	495	430
Акация белая	800	770	650	Осина	495	465	400
Груша	710	670	585	Липа	495	470	410
Дуб	690	655	570	Тополь	455	425	375
Клен	690	655	570	Ива	455	425	380

20. Формулы для определения различных показателей плотности древесины по ее плотности при нормализованной влажности ρ_{12}

Показатели	Формулы для пород с коэффициентом разбухания древесины K_α, % на 1 % влажности	
	$K_\alpha = 0{,}6$ (белая акация, береза, бук, граб, лиственница)	$K_\alpha = 0{,}5$ (остальные породы)
Плотность абсолютно сухой древесины	$\rho_0 = 0{,}957\rho_{12}$ (43)	$\rho_0 = 0{,}946\rho_{12}$ (44)
Базисная плотность древесины	$\rho_б = 0{,}811\rho_{12}$ (45)	$\rho_б = 0{,}823\rho_{12}$ (46)
Парциальная плотность древесины при влажности $W < 30\,\%$	$\rho'_W = 0{,}957\rho_{12} \times \times \frac{100}{100 + 0{,}6W}$ (47)	$\rho'_W = 0{,}946\rho_{12} \times \times \frac{100}{100 + 0{,}5W}$ (48)
Плотность древесины при влажности $W = 15\,\%$	$\rho_{15} = 1{,}010\rho_{12}$ (49)	$\rho_{15} = 1{,}012\rho_{12}$ (50)
Плотность древесины при влажности $W = 0 - 30\,\%$	$\rho_W = 0{,}957\rho_{12} \times \times \frac{100 + W}{100 + 0{,}6W}$ (51)	$\rho_W = 0{,}946\rho_{12} \times \times \frac{100 + W}{100 + 0{,}5W}$ (52)
Плотность древесины при влажности $W > 30\,\%$	$\rho_W = 0{,}811\rho_{12} \times \times (1 + 0{,}01W)$ (53)	$\rho_W = 0{,}823\rho_{12} \times \times (1 + 0{,}01W)$ (54)

Результаты вычислений ρ_0 и ρ_{15} по формулам (43), (44), (49), (50) и известным формулам Н.Л. Леонтьева [42], выведенным из несколько упрощенной исходной зависимости между ρ_W и W, практически совпадают. Плотность ρ_W при более высокой влажности по формулам монографии [42] оказывается примерно на 2 % выше, а базисная плотность $\rho_б$ на 2,5–4 % ниже значений, вычисленных по формулам (51) – (54) и (45), (46).

Различие в значениях базисной плотности объясняется тем, что раньше, используя формулу (39) вместо коэффициента объемной усушки K_β подставляли по существу коэффициент разбухания K_α. По этой же причине значения $\rho_б$, приведенные в РТМ и табл. 20, занижены на указанную выше величину.

Плотность коры исследована гораздо меньше, чем древесины; имеющиеся отрывочные данные отличаются большой пестротой. Ниже приведены результаты исследования коры трех пород, проведенных Н.Л Леонтьевым:

Порода	Сосна	Ель	Береза
Плотность коры при $W = 12$ %, кг/м^3	680	730	745
Плотность абсолютно сухой коры, кг/м^3	652	715	736

Сравнение этих данных со средней плотностью древесины при влажности 12 % показывает, что плотность коры сосны на 35 %, ели – на 65 %, а березы – на 18 % больше, чем древесины. Для определения плотности коры указанных пород при других значениях влажности по аналогии с древесиной можно использовать формулы (30) и (31), подставив в них коэффициенты объемного разбухания коры.

Плотность луба значительно выше, чем плотность корки. Об этом свидетельствуют данные А.Б. Большакова о плотности составных частей коры в абсолютно сухом состоянии для трех пород, кг/м^3:

Порода	Сосна	Ель	Береза
Луб	808	929	847
Корка	296	638	524

§ 13. Проницаемость древесины жидкостями и газами

Проницаемость характеризует способность древесины пропускать жидкости или газы под давлением. При испытаниях обычно используют из жидкостей воду, а из газов – воздух или азот.

Водопроницаемость древесины вдоль волокон значительно выше, чем поперек; при этом у древесины лиственных пород она в несколько раз больше, чем у хвойных. Заболонь имеет намного большую во-

допроницаемость, чем ядро (спелая древесина), которое у некоторых пород вообще не пропускает воду.

Вода в древесине движется по системе капилляров, включающей в себя полости клеток, отверстия в мембранах пор и субмикроскопические каналы в клеточных стенках. У сухой древесины в ядре и в заболони клетки имеют в основном закрытые поры, у которых торус прижат к окаймлениям.

На проницаемость влияет содержание и характер распределения в ядре смолистых и других экстрактивных веществ, затрудняющих или вовсе исключающих возможность перемещения воды по микрокапиллярам в мембранах пор и клеточных стенках. Удаление этих веществ путем их экстракции спиртобензолом повышает проницаемость ядра, особенно сильно у сосны и кедра, меньше – у ели и лиственницы. У пихты проницаемость существенно увеличивается после обработки древесины метанолом или ацетоном. Поздняя древесина годичных слоев у сосны, ели (кроме заболони), пихты более водопроницаема, чем ранняя древесина [78]. Существенное влияние на проницаемость поперек волокон оказывают сердцевинные лучи. Роль лучевых трахеид показана в работе [30].

Определение водопроницаемости проводят по стандартному методу, разработанному В.А. Баженовым. Согласно ГОСТ 16483.15-72 для испытаний применяют прибор, устройство которого показано на рис. 36. Образец в виде цилиндра диаметром 47 мм и высотой 20 мм, ориентированный вдоль волокон, или в радиальном, или тангенциальном направлении поперек волокон, влагоизолируют по боковой поверхности. Образец *10* вкладывают между двумя кольцевыми резиновыми прокладками *9* в корпус прибора. В корпус запрессованы два подшипника *7*, исключающие деформацию прокладок при навинчивании верхней части корпуса *6* и зажиме образца. Затем в полость над образцом наливают дистиллированную воду, укрепляют стеклянную трубку *1* и доливают необходимое количество воды, а сверху тонкий слой масла, предотвращающий испарение воды во время опыта. Высота столба воды в трубке должна быть 100±3 см.

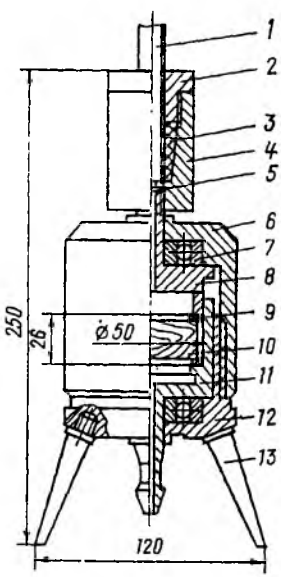


Рис. 36. Прибор для определения водопроницаемости древесины:
1 – стеклянная трубка; *2* – пробка сальника; *3* – трубка; *4* – корпус сальника; *5* – прокладка; *6* – верхняя часть корпуса; *7* – подшипник; *8* – верхний зажим; *9* – кольцевая прокладка; *10* – образец; *11* – нижний зажим; *12* – нижняя часть корпуса; *13* – ножка

Количество воды, поглощенное древесиной и прошедшее через образец, определяют по перемещению мениска в градуированной (цена делении 0,2 $см^3$) трубке *1* на границе вода – масло. После каждого измерения в трубку доливают воду до первоначальной отметки. Испытания продолжают до тех пор, пока не установится постоянный суточный расход воды. По окончании опыта определяют влажность образца. Основные показатели водопроницаемости – количество воды, $см^3$, прошедшее через образец в 1 сут. при установившемся состоянии, и максимальная влажность образца. Кроме того, строят график зависимости расхода воды от времени выдержки.

Газопроницаемость древесины. Наибольшая проницаемость обнаруживается при движении газов вдоль волокон, она в десятки раз больше, чем поперек волокон. При этом проницаемость древесины сосны для газов в радиальном направлении больше, чем в тангенциальном в 2–5 раз, ели – в 10 раз [по 56].

Изучение воздухопроницаемости древесины поперек волокон по ныне стандартизованной методике провел В.А. Баженов. Был использован несколько переоборудованный прибор для испытания древесины на водопроницаемость (рис.36). Вместо стеклянной трубки была укреплена насадка с манометром, в которую нагнетался воздух. Через отверстие в дне корпуса присоединялся газометр. Воздухопроницаемость древесины определялась количеством воздуха, $см^3$, прошедшего через 1 $см^2$ поверхности образца в 1 сек. Результаты некоторых опытов приведены в табл.21

21. Воздухопроницаемость древесины

Порода, зона древесины	Направление	Толщина, мм	Воздухопроницаемостью, $см^3/(см^2 \cdot с)$, при давлении, МПа			
			0,1	0,2	0,3	0,4
Сосна, заболонь	Радиальное	13,9	0,0562	0,1190	0,1600	0,2390
Сосна, ядро	Радиальное	14,2	0,0026	0,0061	0,0100	0,0138
Сосна, ядро	Тангенциальное	14,1	0,0039	0,0061	0,0153	0,0250
Дуб, ядро	Радиальное	3,5	0,00013	0,00026	0,00045	0,00067
Дуб, ядро	Тангенциальное	3,4	0,00071	0,00130	0,00287	0,00478
Бук	Тангенциальное	15,0	0,0150	0,0390	0,0670	0,0870

Как видно из таблицы, ядро сосны имеет весьма незначительную воздухопроницаемость; она по крайней мере в 10–15 раз меньше, чем у заболони. У ядровой древесины дуба проницаемость меньше в радиальном и больше в тангенциальном направлении лишь в тонких образцах.

Согласно ГОСТ 16483.34-77 в качестве показателя, характеризующего способность древесины проводить газы, рекомендуется использовать коэффициент газопроницаемости $K_г$, $м^2/(с \cdot МПа)$, вычисляемый по формуле

$$K_г = \frac{vh}{P}, \qquad (55)$$

где v – газопроницаемость, $м^3/(м^2 \cdot с)$; P – манометрическое давление, МПа; h – высота образца, м.

Проницаемость древесины азотом в радиальном направлении была исследована [78] у хвойных пород Сибири. Наибольшие значения $K_г$ были обнаружены у заболони сосны: примерно половина испытанных образцов имела $K_г = 2{,}22 \cdot 10^{-3}$ $м^2/(с \cdot МПа)$, а другая половина – $4{,}6 \cdot 10^{-4}$ $м^2/(с \cdot МПа)$. Несколько меньший коэффициент газопроницаемости у кедра и лиственницы и весьма малый у ели. У пихты заболонь оказалась почти совсем непроницаемой для азота. У всех пород (кроме пихты) проницаемость заболони намного выше, чем ядра (спелой древесины). Наименьшая проницаемость ядра у лиственницы, у пихты несколько выше (и даже больше, чем для заболони), далее следуют ель, кедр и сосна.

Испытания древесины на газопроницаемость требуют значительно меньше времени, чем испытания проницаемости жидкостями. Между указанными свойствами наблюдается тесная корреляция и определение газопроницаемости используют для оценки способности древесины пропитываться растворами антисептиков и антипиренов, варочными растворами при получении целлюлозы и т. д.

§ 14. Тепловые свойства древесины

К теплофизическим свойствам древесины относятся теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность и тепловое расширение.

Известно, что теплоемкость материала характеризует его способность аккумулировать тепло. Показателем этого свойства является удельная теплоемкость c, представляющая собой количество теплоты, необходимое для того, чтобы нагреть 1 кг массы материала на 1 К (или на 1 °С). Удельная теплоемкость измеряется в кДж/(кг·°С).

Процессы распространения (переноса) тепла в материале характеризуются – коэффициентами теплопроводности и температуропроводности. Первый из них входит в уравнение стационарного теплообмена

$$Q = \lambda F \tau \left(\frac{\Delta t}{\Delta x} \right), \qquad (56)$$

устанавливающее связь между количеством теплоты Q, распространяющейся внутри тела, и площадью сечения F, перпендикулярного тепловому потоку, временем τ, перепадом температур Δt на двух изотермических поверхностях, а также расстоянием между ними Δx. Коэффициент теплопроводности λ численно равен количеству теплоты, проходящей в единицу времени через стенку из данного материала площадью

1 м^2 и толщиной 1 м при разности температур на противоположных сторонах стенки в 1 °С. Коэффициент теплопроводности измеряется в Вт/(м·°С). При стационарном теплообмене температурное поле в материале остается постоянным во времени.

Второй из указанных выше показателей, характеризует скорость изменения температуры материала при нестационарном теплообмене (нагревании или охлаждении). Коэффициент температуропроводности a определяет инерционность материала, т. е. его способность выравнивать температуру. Показатель a, м^2/с, численно равен отношению коэффициента теплопроводности к теплоемкости единицы объема материала:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \qquad (57)$$

где ρ – плотность, кг/м^3.

Экспериментально удельную теплоемкость материала определяют калориметрами. Также прямым методом можно установить коэффициент теплопроводности при стационарном потоке тепла. Однако для древесины, особенно влажной, более удобны нестационарные методы. Один из таких методов, основанный на использовании "мгновенного" источника тепла, достаточно подробно описан в учебном пособии [70].

Теплоемкость древесины. Сухая древесина представляет собой двухфазную систему, включающую в себя древесинное вещество и воздух. Однако доля воздуха (по массе) в древесине крайне мала, и теплоемкость сухой древесины практически равна теплоемкости древесинного вещества.

Поскольку состав древесинного вещества у всех пород одинаков, удельная теплоемкость древесины не зависит от породы и по современным данным [83] при 0 °С для абсолютно сухой древесины равна 1,55 кДж/кг·°С. С повышением температуры удельная теплоемкость древесины несколько возрастает по линейному закону и при 100 °С увеличивается примерно на 25 %.

Значительно сильнее влияет на теплоемкость увлажнение древесины. Например, увеличение влажности древесины от 0 до 130 % приводит к повышению теплоемкости примерно в *2* раза.

Одновременное влияние температуры и влажности на теплоемкость древесины можно проследить по диаграмме (рис. 37), построенной П.С. Серговским по данным К.Р. Кантера. На этой же диаграмме представлены значения теплоемкости при отрицательных температурах. Замораживание сырой древесины приводит к уменьшению теплоемкости, так как лед имеет вдвое меньшую теплоемкость, чем вода.

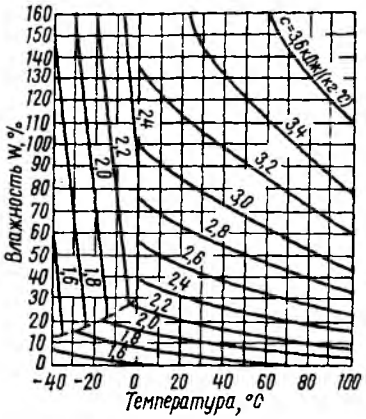


Рис. 37. Диаграмма удельной теплоемкости древесины

Однако главным фактором, влияющим на теплоемкость мерзлой древесины, является не влажность, а температура [81].

Теплопроводность древесины. На способность древесины проводить тепло оказывает влияние ее плотность.

На рис. 38 показан график зависимости между коэффициентом теплопроводности древесины поперек волокон $\lambda_{\perp}$ и ее плотностью в абсолютно сухом состоянии ρ_0, построенный автором по данным отечественных и зарубежных исследователей.

Нижний экстраполированный участок кривой отсекает на оси ординат отрезок, равный величине теплопроводности воздуха – 0,0253 Вт/(м·°С); верхний участок кривой, продолженный до плотности $\rho_0 = 1530$ кг/м^3, дает возможность ориентировочно оценить теплопроводность древесинного вещества $\lambda_{д.в\perp}$. Как видим, этот показатель оказывается равным примерно 0,5 Вт/(м·°С). Точные данные о теплопроводности древесинного вещества отсутствуют.

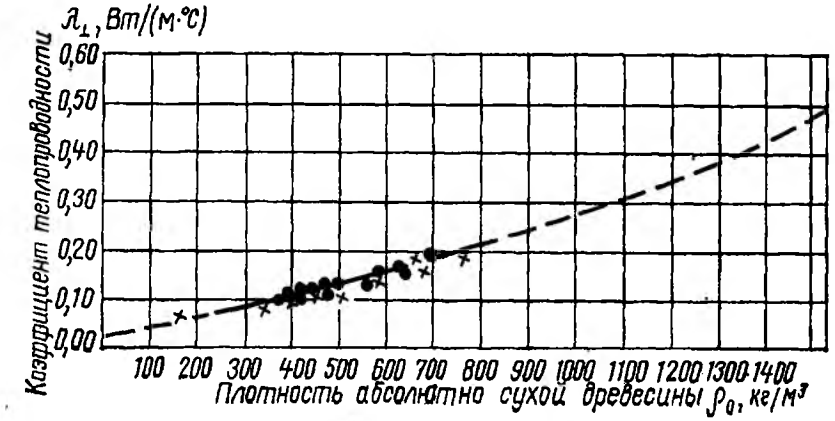


Рис. 38. Зависимость теплопроводности древесины поперек волокон от плотности в абсолютно сухом состоянии

В.П. Ловецкий (СибТИ) рассчитал коэффициент теплопроводности древесинного вещества, рассматривая древесину как набор пустотелых стержней прямоугольного сечения и используя экспериментальные данные о теплопроводности древесины березы. Подставляя в формулу В.П. Ловецкого вместо $\rho_б$ величину ρ_0 для березы получаем $\lambda_{д.в\perp}$, равную 0,48; для сосны в тангенциальном направлении – 0,53, т. е. показатели, близкие к 0,5 Вт/(м·°С).

Увеличение плотности сухой древесины, т. е. повышение доли, занимаемой в единице объема древесинным веществом, приводит к возрастанию теплопроводности древесины. Это объясняется тем, что древесинное вещество имеет примерно в 20 раз больший коэффициент теплопроводности $\lambda_{д.в\perp}$, чем воздух. Можно рассчитать теплопроводность древесинного вещества $\lambda_{д.в\parallel}$ по теплопроводности древесины $\lambda_{\parallel}$ вдоль волокон, полагая, что тепло передается параллельно по клеточным стенкам и воздуху, заключенному в полостях клеток. Тогда λ древесинного вещества оказывается для березы 0,94, а для сосны 0,87 Вт/(м·°С).

Поскольку микрофибриллы ориентированы преимущественно вдоль оси клеток, теплопроводность в этом направлении примерно в 1,5–2 раза выше, чем в поперечном направлении.

По радиальному и тангенциальному направлениям поперек волокон коэффициенты теплопроводности λ_r и λ_t могут различаться. Дело в том, что в тангенциальном направлении вытянуты зоны поздней древесины годичных слоев. Поздняя древесина, особенно у хвойных пород, более плотная, чем ранняя, и следовательно, более теплопроводная. Расчеты [81, 83] показывают, что теплопроводность древесины в тангенциальном направлении несколько больше, чем в радиальном.

Увеличению теплопроводности в радиальном направлении способствуют сердцевинные лучи с преимущественным расположением микрофибрилл вдоль длины луча. Играет роль и форма сечения анатомических элементов. Все это приводит к тому, что по экспериментальным данным многих исследователей у древесины хвойных и большинства лиственных пород практически нет разницы между λ_r и λ_t. Только у лиственных пород с большим объемом сердцевинных лучей (дуб, бук), λ_r больше λ_t примерно на 15 %.

Увлажнение древесины, т. е. замещение содержащегося в ней воздуха водой, имеющей в 23 раза большую теплопроводность, приводит к возрастанию теплопроводности древесины. По мере заполнения полостей клеток водой скорость изменения функции $\lambda = f(W)$ постепенно уменьшается (рис. 39).

Повышение температуры влажной древесины приводит к еще большему увеличению теплопроводности. Это можно проследить по обобщен-

ной диаграмме (рис. 40) для древесины березы [по 61, 83]. На этом же рисунке показана диаграмма коэффициентов теплопроводности в области отрицательных температур [по 81]. Замораживание древесины влажностью выше предела насыщения клеточных стенок ведет к скачкообразному увеличению ее теплопроводности, так как коэффициент теплопроводности льда при $t = 0$ °С в 4 раза больше, чем воды. При дальнейшем понижении температуры теплопроводность возрастает, что связано главным образом с повышением теплопроводности льда. При влажности ниже $W_{п.н}$ фазовые превращения испытывает лишь небольшая часть связанной воды, поэтому таких скачков здесь не наблюдается.

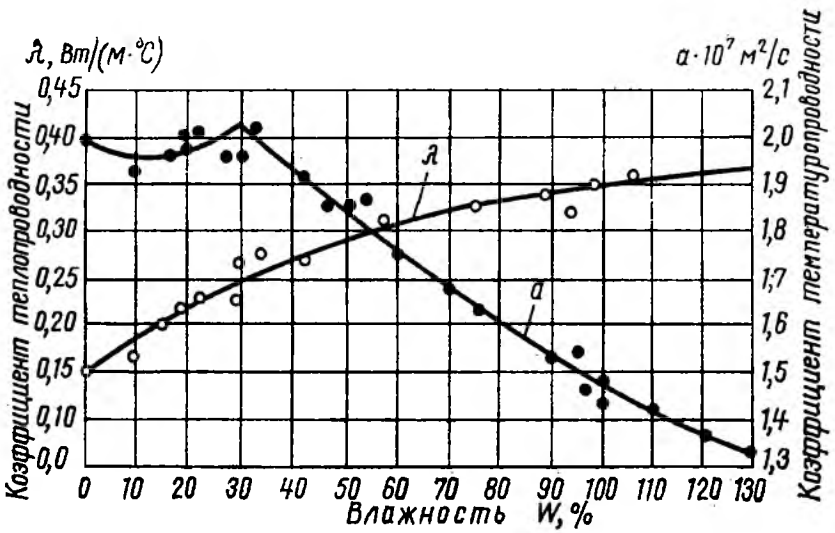


Рис. 39. Зависимость коэффициентов теплопроводности и температуропроводности древесины от влажности (по Г.С. Шубину и Э.Б. Щедриной). Сосна ($\rho_б$ = 360 кг/м^3), тепловой поток в радиальном направлении, температура t = 25 °С

Используя диаграмму (рис. 40), можно определить, предложенным П.С. Серговским методом, теплопроводность древесины других пород. Для этого, приняв значение λ для березы ($\rho_б$ = 500 кг/м^3) за номинальное, надо умножить его на коэффициент K_ρ учитывающий плотность древесины данной породы. Ниже приведены коэффициенты K_ρ для разных значений базисной плотности древесины $\rho_б$:

$\rho_б$	350	375	400	425	450	475	525	550	575	600
K_ρ	0,80	0,84	0,87	0,90	0,93	0,97	1,05	1,11	1,20	1,28

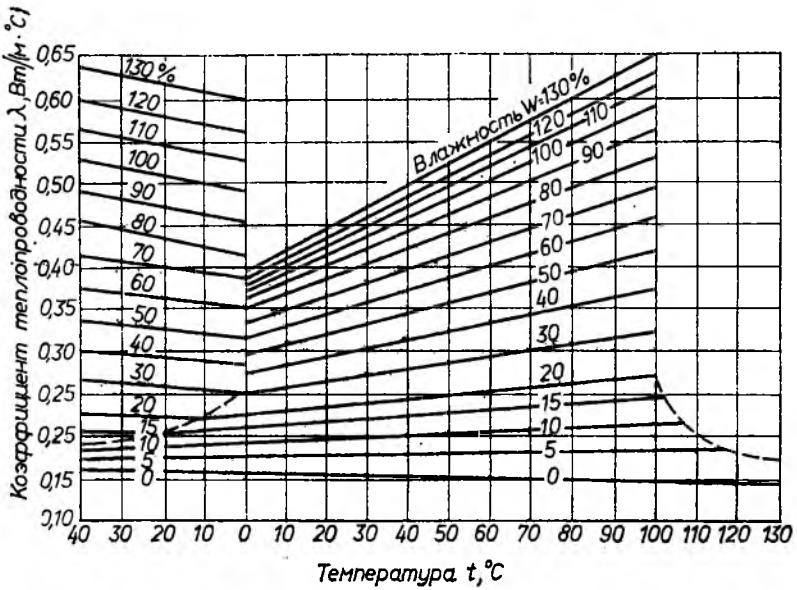


Рис. 40. Диаграмма коэффициента теплопроводности древесины березы ($\rho_б$ = 500 кг/м^3), тепловой поток в радиальном направлении

Для учета влияния направления теплового потока надо найденные значения коэффициента теплопроводности умножить еще на K_x, равный для дуба, бука в тангенциальном направлении 0,87, а вдоль волокон 1,6. Для остальных пород учитывается только различие в теплопроводности вдоль и поперек волокон; при тепловом потоке вдоль волокон $K_x = 2{,}2$.

Значения коэффициентов λ у древесины сравнительно невелики, поэтому древесина относится к довольно хорошим теплоизоляционным материалам.

Температуропроводность древесины. Величина коэффициента температуропроводности a определяется по уравнению (57), если известны значения двух других тепловых коэффициентов λ и c. У абсолютно сухой древесины с уменьшением плотности ρ коэффициент температуропроводности возрастает. Это связано с увеличением в единице объема древесины доли воздуха, имеющего температуропроводность примерно в 100 раз большую, чем древесинное вещество. Влияние влажности на температуропроводность поперек волокон иллюстрирует рис. 39. Увеличение содержания свободной воды $(W > W_{п.н})$ приводит к резкому падению температуропроводности, потому, что воздух в полостях клеток замещается водой, имеющей примерно в 150 раз меньший коэффициент температуропроводности.

В области ниже $W_{п.н}$ влияние влажности на величину a практически не наблюдается. Это объясняется тем, что воздуха в клеточных стенках почти нет, и влажная клеточная стенка состоит из двух фаз – древесинного вещества и воды, коэффициенты температуропроводности которых довольно близки.

Тепловое расширение древесины. При нагревании твердых материалов, в том числе и древесины, происходит увеличение их объема. Коэффициент линейного теплового расширения α' представляет собой изменение единицы длины тела при нагревании его на 1 °С. Вследствие анизотропии древесины коэффициенты α' по трем структурным направлениям различны. Наименьший коэффициент линейного расширения $\alpha'_{\parallel}$ в направлении вдоль волокон; величина его по данным из разных источников для сухой древесины колеблется в пределах $(2{,}5–5{,}4)10^{-6}$ 1/°С. Тепловое расширение поперек волокон значительно (иногда в 10–15 раз) больше, чем вдоль волокон, причем в тангенциальном направлении оно обычно в 1,5–1,8 раза выше, чем в радиальном. Таким образом, наблюдается известная аналогия с анизотропией усушки (разбухания).

Некоторые данные о коэффициентах линейного расширения абсолютно сухой древесины приведены в табл. 22. Коэффициент линейного расширения вдоль волокон древесины составляет 1/3 – 1/10 коэффициентов теплового расширения металлов, бетона и стекла. При нагревании влажной древесины кроме теплового расширения поперек волокон, вызванного повышением температуры, одновременно происходит значительно большая влажностная деформация. Изменение влажности на 1 % в области ниже $W_{п.н}$ вызывает деформацию в десятки раз большую, чем изменение температуры на 1 °С. Таким образом, усушка и разбухание маскируют чисто температурные деформации древесины поперек волокон. Если повышается температура свежесрубленной древесины, находящейся в воде, то при первом нагреве происходит увеличение размеров в тангенциальном направлении и сокращение их в радиальном. При последующих нагреваниях наблюдается некоторое уменьшение размеров в обоих направлениях.

22. Коэффициенты теплового расширения сухой древесины

Порода	$\alpha'_{\parallel}\cdot 10^6$	$\alpha'_{r}\cdot 10^6$	$\alpha'_{t}\cdot 10^6$	Источник
Сосна	4,2	15,0	29,0	В. Стивенс
Ель	2,6	29,3	50,2	Я.Н. Рудобельская (Станко)
Дуб	3,6	29,3	41,9	Медисонская лаборатория
Береза	2,5	27,2	30,0	– " –
Бук	5,4	22,0	34,8	В. Стивенс

В табл. 23 представлены данные Я.Н. Станко (МЛТИ) о коэффициентах α' для сырой и сухой древесины ели; знаки "+" и "–" показывают соответственно удлинение и укорочение.

23. Коэффициенты теплового расширения сырой и сухой древесины ели

Структурное направление	Коэффициенты теплового расширения древесины $\alpha' \cdot 10^6$, $1/°C$		
	сырой		сухой
	Первый нагрев	Последующие нагревы	
Радиальное	–29	–5	+28,5
Тангенциальное	+25	–5	+48,0

Причина увеличения деформации при первом нагреве, очевидно, заключается в снятии внутренних напряжений роста. В растущем дереве в тангенциальном направлении действуют сжимающие напряжения, поэтому при снятии их обнаруживается удлинение образца в этом направлении. В радиальном направлении происходит обратное явление. Удовлетворительного объяснения причин сокращения образца при последующих нагревах пока еще не найдено.

Показатели, характеризующие тепловые свойства древесины, используются для расчета процессов ее нагревания, сушки, оттаивания, замораживания, потерь тепла через ограждения из древесины.

§ 15. Электрические свойства древесины

В этой группе свойств рассматривается электропроводность, электрическая прочность, диэлектрические и пьезоэлектрические свойства древесины.

Электропроводность. Способность древесины проводить электрический ток находится в обратной зависимости от ее электрического сопротивления. В общем случае полное сопротивление образца древесины, размещенного между двумя электродами, определяется как результирующее двух сопротивлений – объемного и поверхностного. *Объемное сопротивление* численно характеризует препятствие прохождению тока сквозь толщу образца, а *поверхностное сопротивление* – прохождению тока по поверхности образца. Показателями электрического сопротивления служат удельное объемное и поверхностное сопротивления. Первый из названных показателей выражается в омах на сантиметр (Ом·см) и численно равен сопротивлению при прохождении тока через две противоположные грани кубика размером 1×1×1 см из данного материала (древесины). Второй показатель измеряется в омах и численно равен сопротивлению квадрата любого размера на поверхности образца древесины

при подведении тока к электродам, ограничивающим две противоположные стороны этого квадрата. Методы измерения этих показателей для древесины стандартизованы (ГОСТ 18408–73).

Представление о порядке величин удельного объемного и поверхностного сопротивлений дают данные, приведенные в табл. 24.

Более подробные данные, полученные в Белорусском технологическом институте (БТИ), приведены в табл. 25. Здесь даны показатели для абсолютно сухой древесины вдоль и поперек волокон (в радиальном направлении) при температуре 20 °С.

24. Сравнительные данные об удельном объемном и поверхностном сопротивлении древесины

Порода и направление	Влажность, %	Удельное объемное сопротивление, Ом·см	Удельное поверхностное сопротивление, Ом	Источник
Береза, вдоль волокон	8,2	$4{,}2\cdot10^{10}$	$4{,}0\cdot10^{11}$	М.М. Михайлов
Береза, поперек волокон	8,0	$8{,}6\cdot10^{11}$	$2{,}8\cdot10^{12}$	
Бук, вдоль волокон	9,2	$1{,}7\cdot10^{9}$	$9{,}4\cdot10^{10}$	
Бук, поперек волокон	8,3	$1{,}4\cdot10^{10}$	$7{,}9\cdot10^{10}$	
Сосна, вдоль волокон	7,5	–	$2{,}1\cdot10^{11}$	И.Л. Туманов (МЛТИ)
Сосна, поперек волокон	7,5	$1{,}3\cdot10^{11}$	$7{,}9\cdot10^{11}$	
Ель, вдоль волокон	7,8	–	$1{,}0\cdot10^{11}$	
Ель, поперек волокон	7,8	$6{,}4\cdot10^{10}$	$4{,}0\cdot10^{11}$	
Дуб, вдоль волокон	7,9	–	$2{,}0\cdot10^{10}$	
Дуб, поперек волокон	7,9	$1{,}3\cdot10^{10}$	$5{,}5\cdot10^{10}$	

Из табл. 25 видно, что древесина относится к диэлектрикам, для которых удельное сопротивление равно 10^{8} – 10^{17} Ом·см. Этот показатель вдоль волокон у большинства пород в несколько раз меньше, чем поперек. Сухая древесина имеет очень малую электропроводность, примерно такую, как у лучших электроизоляционных материалов. С повышением влажности древесины ее сопротивление уменьшается.

25. Удельное объемное сопротивление древесины в абсолютно сухом состоянии

Порода	Удельное объемное сопротивление, Ом·см	
	поперек волокон	вдоль волокон
Сосна	$2{,}3 \cdot 10^{15}$	$1{,}8 \cdot 10^{15}$
Ель	$7{,}6 \cdot 10^{16}$	$3{,}8 \cdot 10^{16}$
Ясень	$3{,}3 \cdot 10^{16}$	$3{,}6 \cdot 10^{15}$
Граб	$8{,}0 \cdot 10^{15}$	$1{,}3 \cdot 10^{15}$
Клен	$6{,}6 \cdot 10^{17}$	$3{,}3 \cdot 10^{17}$
Береза	$5{,}1 \cdot 10^{16}$	$2{,}3 \cdot 10^{16}$
Ольха	$1{,}0 \cdot 10^{17}$	$9{,}6 \cdot 10^{15}$
Липа	$1{,}5 \cdot 10^{16}$	$6{,}4 \cdot 10^{15}$
Осина	$1{,}7 \cdot 10^{16}$	$8{,}0 \cdot 10^{15}$

Особенно большое влияние на электропроводность оказывает связанная вода. В табл. 26 представлены данные (БТИ), иллюстрирующие влияние изменения влажности в диапазоне 0–20 % на удельное объемное сопротивление древесины поперек волокон.

26. Влияние влажности на объемное сопротивление древесины

Порода	Удельное объемное сопротивление, Ом·см, при влажности древесины, %		
	0	7	20
Сосна	$2{,}3 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{8}$
Ель	$7{,}6 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^{8}$
Дуб	$1{,}5 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{11}$	$7 \cdot 10^{8}$
Береза	$5{,}1 \cdot 10^{16}$	$9 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{8}$
Ольха	$1{,}0 \cdot 10^{17}$	$9 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{8}$

Резкое падение сопротивления продолжается при повышении влажности до предела насыщения клеточных стенок. Электропроводность древесины при $W_{п.н}$ больше электропроводности абсолютно сухой древесины в десятки миллионов раз. Дальнейшее повышение влажности за счет увеличения содержания свободной воды приводит к увеличению электропроводности лишь в десятки или сотни раз.

Поверхностное сопротивление древесины также существенно снижается с увеличением влажности. По данным МЛТИ увеличение влажности древесины бука от 4,5 до 17 % привело к снижению удельного поверхностного сопротивления вдоль волокон с $1{,}2 \cdot 10^{13}$ до $1{,}0 \cdot 10^{7}$ Ом.

Повышение температуры приводит к уменьшению объемного сопротивления древесины. Наибольшее влияние температуры заметно при срав-

нительно низкой влажности древесины. Так, увеличение температуры от 20 до 94 °С снижает сопротивление абсолютно сухой древесины в миллион раз, а древесины влажностью 22–24 % всего лишь в 100 раз.

При отрицательных температурах объемное сопротивление древесины возрастает. По данным ЛТА удельное объемное сопротивление вдоль волокон образцов березы влажностью 76 % при 0 °С составило $1{,}2 \cdot 10^7$ Ом·см, а при охлаждении до –24 °С оно оказалось $1{,}02 \cdot 10^8$ Ом·см.

Пропитка древесины минеральными антисептиками (например, хлористым цинком) уменьшает удельное сопротивление, в то время как пропитка креозотом мало отражается на электропроводности.

Электропроводность древесины имеет значение при разработке режимов ее отделки лаками в поле высокого потенциала; режимов резания древесины; методов снятия статических зарядов при шлифовании древесины и др. На зависимости величины электропроводности древесины от ее влажности основано устройство кондуктометрических влагомеров. Эти приборы дают наиболее точные показания при влажности ниже предела насыщения клеточных стенок, т. е. в области особенно сильного влияния влажности на электропроводность.

Электрическая прочность древесины. Способность древесины противостоять пробою, т. е. снижению сопротивления при больших напряжениях, называется электрической прочностью. Для определения электрической прочности древесины при переменном напряжении, частотой 50 Гц разработан ГОСТ 18407-73.

Электрическую прочность $E_{пр}$, кВ/мм, вычисляют с погрешностью до 0,01 по формуле

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h}, \qquad (58)$$

где $U_{пр}$ – эффективное пробивное напряжение, кВ; h – толщина образца в рабочей зоне, мм.

Некоторые данные об электрической прочности древесины, определенные в ЦНИИМОДе по стандартной методике, а также ранее полученные данные других исследователей, приведены в табл. 27.

27. Электрическая прочность древесины некоторых пород

Порода	Влажность, %	Электрическая прочность $E_{пр}$, кВ/мм в направлении			Источник
		радиальном	тангенциальном	вдоль волокон	
Сосна	0	5,9	7,2	1,45	В.М. Спиридонов и А.З. Хартанович (БТИ)
	33	1,4	1,5	0,76	
Ель	0	6,0	7,2	1,35	
	33	1,4	1,3	0,87	
Береза	0	9,1	7,6	1,26	
	33	1,4	1,2	0,50	
Береза	12	–	5,7	1,31	С.А. Кабаков (ЦНИИМОД)
Бук	12	–	4,4	1,32	
Сосна	10	5,9	7,7	1,68	К.М. Ханмамедов

Как видно из табл. 27 электрическая прочность абсолютно сухой древесины вдоль волокон в 4–7 раз меньше, чем поперек. С повышением влажности электрическая прочность заметно снижается, при этом уменьшается различие между $E_{пр}$ вдоль и поперек волокон. По данным БТИ прочность снижается в 2 раза при изменении влажности с 10 до 14 %. Электрическая прочность древесины по сравнению с другими твердыми изоляционными материалами невелика (у стекла $E_{пр}$ равна 30, у полиэтилена – 40 кВ/мм).

Для повышения электрической прочности древесину пропитывают парафином, олифой, искусственными смолами и другими веществами.

Диэлектрические свойства древесины. Древесина, находящаяся в переменном электрическом поле, проявляет свои диэлектрические свойства, характеризующиеся двумя показателями. Первый из них – относительная диэлектрическая проницаемость ε – численно равен отношению емкости конденсатора с прокладкой из древесины к емкости конденсатора с воздушным зазором между электродами. Второй показатель – тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ определяет долю подведенной мощности, которая вследствие дипольной поляризации древесины поглощается ею и превращается в тепло. При этом вектор тока опережает вектор напряжения на угол, меньший, чем 90°. Угол δ, дополняющий угол сдвига фаз φ до прямого, и называется углом диэлектрических потерь. Чем больше рассеиваемая в древесине мощность, тем больше угол δ. Методы определения диэлектрических показателей древесины пока не стандартизованы. Применявшиеся разными исследователями методы описаны в пособии [70].

Диэлектрическая проницаемость абсолютно сухой древесины примерно в 2 раза больше, чем воздуха (ε воздуха равна 1). С возрастанием плотности древесины показатель существенно увеличивается. Значительно больше влияет увлажнение древесины (рис. 41).

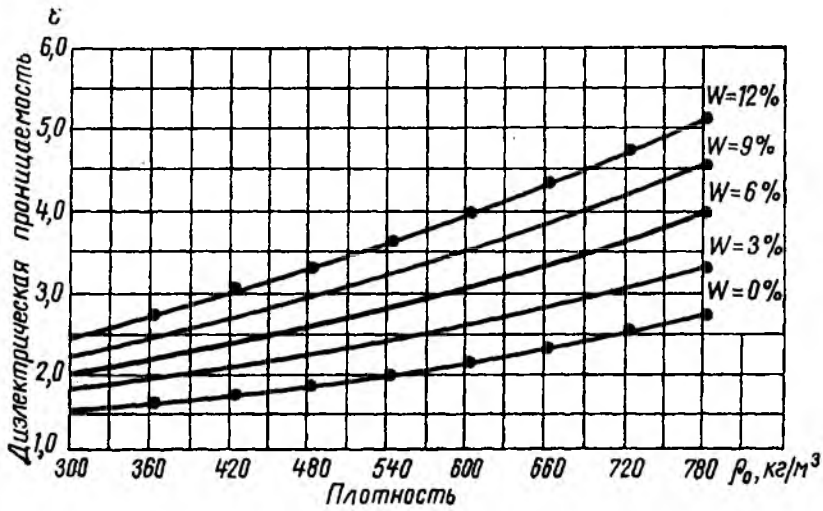


Рис. 41. Зависимость диэлектрической проницаемости ε древесины поперек волокон (частота f = 5 МГц) от плотности ρ_0 при разной влажности W (по Р. Петерсону)

Повышение частоты вызывает снижение ε. По обобщенным данным Г.И. Торговникова для широкого диапазона частот (10–10^{11} Гц), включая область сверхвысоких частот (СВЧ), диэлектрическая проницаемость абсолютно сухой древесины поперек волокон $\varepsilon_\perp$ при плотности $\rho_0 = 130$ кг/м^3 (бальза) в среднем составила 1,3, а при $\rho_0 = 800$ кг/м^3 (граб) – 2,6. Вдоль волокон $\varepsilon_\parallel$ больше чем поперек $\varepsilon_\perp$ в среднем в 1,4 раза.

Напомним, что область СВЧ охватывает диапазон длин волн от 1 м до 1 мм (частота $f = 3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{11}$ Гц).

Поскольку ε воды при частоте $f = 10 - 10^{11}$ Гц находится в диапазоне 81–7,5 с увеличением влажности древесины наблюдается соответствующее повышение ε. Для древесины плотностью $\rho_0 = 500$ кг/м^3 при $W = 10$ % и $t = 20$ °С на частоте 10^4 Гц диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_\perp$ равна 4,2, на частоте 10^{10} Гц она равна 2,0, а при $W = 60$ % соответственно равна 65 и 6,6.

Повышение температуры от –40 до 100 °С приводит к незначительному увеличению $\varepsilon_\perp$ абсолютно сухой древесины (примерно в 1,3 раза) и заметному увеличению $\varepsilon_\perp$ (особенно на частотах до 10^6 Гц) влажной древесины.

Тангенс угла диэлектрических потерь древесины также зависит от ее плотности. Поскольку потери в древесинном веществе значительно больше, чем в воздухе, с увеличением плотности древесины $\operatorname{tg}\delta$ возрастает. По данным Г.И. Торговникова $\operatorname{tg}\delta$ древесины поперек волокон при плотности $\rho_0 = 500$ кг/м^3 и комнатной температуре в диапазоне

частот $10–10^5$ Гц составляет 0,005–0,007, а при плотности $\rho_0 = 800$ кг/м^3 этот показатель равен 0,007–0,025. При больших частотах также наблюдается увеличение $\operatorname{tg}\delta$.

Вдоль волокон $\operatorname{tg}\delta$ выше, чем поперек волокон в среднем в 1,7 раза. С повышением влажности $\operatorname{tg}\delta$ увеличивается (рис. 42). Зависимости этого показателя от частоты имеют сложный характер. Так, для древесины с плотностью $\rho_0 = 500$ кг/м^3 при температуре 20 °С и влажности $W = 80\,\%$ величина $\operatorname{tg}\delta$ при частоте 10^3 Гц достигает 74, при частоте 10^8 Гц снижается до 0,2, а в области СВЧ $\left(f = 10^{10}\text{ Гц}\right)$ возрастает до 0,34. Повышение температуры абсолютно сухой древесины вызывает снижение $\operatorname{tg}\delta$, но в области СВЧ этот показатель возрастает. У влажной древесины $(W = 25\,\%)$ нагревание приводит к существенному возрастанию $\operatorname{tg}\delta$, однако в области СВЧ он меняется незначительно.

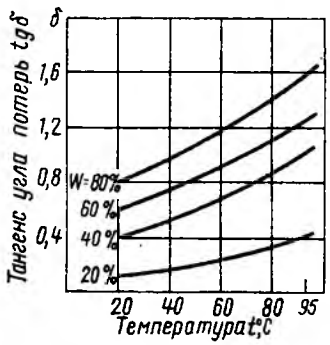


Рис. 42. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь древесины ели поперек волокон от температуры и влажности при частоте $f = 3$ МГц (по А.А. Горяеву)

При диэлектрическом нагреве температура повышается одновременно по всему объему древесины. Такой способ нагрева можно использовать в процессах ее сушки, склеивания, пропитки и др. В последнее время находит применение микроволновая сушка древесины в поле СВЧ. При расчете установок для диэлектрического нагрева используют формулу, в которую входит в качестве параметра, характеризующего свойства нагреваемого материала, показатель $K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$, называемый фактором, или коэффициентом потерь. Величину K можно определить на основании калориметрического измерения поглощаемой мощности. Этот показатель увеличивается с повышением влажности и температуры древесины.

Пьезоэлектрические свойства древесины. На поверхности некоторых диэлектриков под действием механических напряжений появляются электрические заряды. Это явление, связанное с поляризацией диэлектрика, носит название прямого пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрические свойства были вначале обнаружены у кристаллов кварца, турмалина, сегнетовой соли и др. Эти материалы обладают также обратным пьезоэлектрическим эффектом, заключающимся в том, что размеры их изменяются под действием электрического поля. Пластинки из этих кристаллов находят широкое применение в качестве излучателей и приемников в ультразвуковой технике.

Исследования В.А. Баженова показали, что такими свойствами обладает и древесина, содержащая ориентированный компонент – целлюлозу. Наибольший пьезоэлектрический эффект наблюдается при сжимающей и растягивающей нагрузках под углом 45° к волокнам. Механические напряжения, направленные строго вдоль или поперек волокон пьезоэлектрического эффекта не вызывают.

Максимальный пьезоэлектрический эффект наблюдается в сухой древесине, с увеличением влажности он уменьшается и уже при влажности 6–8 % почти совсем исчезает. С повышением температуры до 100 °С его показатели увеличиваются. Чем выше модуль упругости древесины, тем меньше пьезоэлектрический эффект.

Открытое явление позволяет глубже изучить тонкую структуру древесины. Показатели пьезоэлектрического эффекта могут служить количественными характеристиками ориентации целлюлозы и поэтому очень важны для изучения анизотропии натуральной древесины и древесных материалов. Это явление используется при разработке неразрушающих методов контроля качества древесины.

§ 16. Звуковые свойства древесины

В эту группу входят свойства, определяющие способность древесины проводить, поглощать и отражать звук, а также ее резонансные свойства.

Распространение звука в древесине. Звук, как известно, представляет собой механические волновые колебания, распространяющиеся в упругих средах. Особенности распространения звуковых колебаний зависят от физических свойств среды и характеризуются рядом показателей.

Скорость распространения звука С, м/с, в достаточно длинном стержне в направлении колебательного движения частиц материала (продольные волны) определяется из соотношения

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \qquad (59)$$

где E – динамический модуль упругости, Н/м^2; ρ – плотность материала, кг/м^3.

Скорость распространения звука, м/с, в древесине можно установить по резонансной частоте вынужденных продольных колебаний образца согласно уравнению

$$C = 2l f_0, \qquad (60)$$

где l – длина образца, м; f_0 – резонансная частота, Гц.

Этот показатель можно также определить импульсным ультразвуковым методом. Для этого измеряют время τ, с, распространения упругой продольной волны по длине образца l, м, и вычисляют C, м/с, по формуле

$$C = \frac{l}{\tau}. \qquad (61)$$

Средние значения скорости распространения звука при продольных колебаниях, по данным МЛТИ и ЦНИИМОД, для комнатно-сухой древесины некоторых пород приведены ниже:

Порода	Лиственница	Сосна	Ель	Дуб	Ясень	Береза
Скорость звука, м/с	4930	5360	5630	4720	4730	5530

В плоскости поперек волокон скорость звука примерно в 3-4 раза меньше, чем вдоль волокон, причем в радиальном направлении она несколько выше, чем в тангенциальном. С увеличением влажности и температуры древесины скорость распространения звука уменьшается. Скорость звука в других материалах составляет, м/с: в стали 5050, в свинце 1200, в каучуке 30, а в воздухе 330.

Важная характеристика древесины при оценке ее способности отражать и проводить звук – *акустическое сопротивление*, Па·с/м:

$$R = \rho C. \qquad (62)$$

Величина этого показателя для комнатно-сухой древесины вдоль волокон указана ниже:

Порода	Лиственница	Сосна	Дуб	Ясень	Бук	Береза
$R \cdot 10^{-5}$ Па·с/м	33	28	31	30	28	29

Для сравнения укажем, что воздух имеет акустическое сопротивление 429, каучук $3 \cdot 10^3$, а сталь $393 \cdot 10^5$ Па·с/м.

По мере распространения звуковых волн в материале вследствие потерь энергии на внутреннее трение происходит затухание колебаний. При этом величина амплитуды уменьшается по экспоненциальному закону.

Для характеристики скорости затухания колебаний и одновременно величины внутреннего трения (вязкости) материала используют показатель δ – *логарифмический декремент* колебаний, численно равный натуральному логарифму отношения двух амплитуд, отделенных друг от друга интервалом в один период.

Для определения декремента колебаний в древесине ЦНИИМОД разработал ГОСТ 16483.31-74. Схема установки, в которой использован электромагнитный способ возбуждения колебаний, показана на рис. 43. Древесина относится к *диамагнетикам*, т. е. веществам, имеющим отрицательную магнитную восприимчивость, которая у нее составляет $(2{,}5\text{-}6)10^{-6}$. Поэтому для возбуждения продольных колебаний на торцы образца размерами 20×20×300 мм (последний размер вдоль волокон) наклеивают ферромагнитные пластинки.

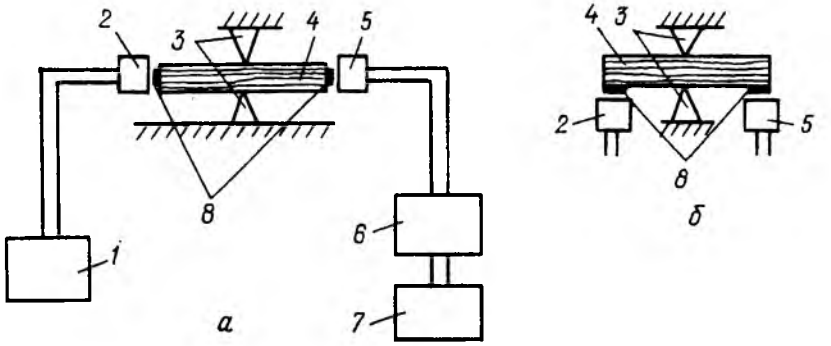


Рис. 43. Схема установки для звуковых испытаний древесины резонансным методом: *а* – схема установки для возбуждения продольных колебаний образца; *б* – схема расположения электромагнитных возбудителя и датчика при изгибных колебаниях образца

Образец *4* размещают на опорном устройстве, как показано на схеме рис. 43,*а*. При этом иглы *3* диаметром 1 мм вводят в заранее высверленные отверстия на глубину 5–6 мм. От генератора *1* электромагнитные колебания подаются на возбудитель *2* и через ферромагнитную пластинку *8* приводят образец в колебательное движение. Механические колебания образца преобразуются датчиком *5* в электрические сигналы, напряжение и частота которых измеряется милливольтметром *6* и частотомером *7*.

Для возбуждения изгибных колебаний ферромагнитные пластинки наклеивают на боковые стороны образца, а возбудитель и датчик располагают по схеме на рис. 43,*б*. Плавно изменяя частоту колебаний, приводят образец в состояние резонанса. Этот момент устанавливают по максимальному отклонению стрелки милливольтметра и фиксируют резонансную частоту f_0, по которой можно определить скорость распространения звука [см. формулу (60)]. Для определения декремента колебаний частоту возмущающих колебаний изменяют на величину $\pm \Delta f$ (по обе стороны от f_0), при которой максимальная (резонансная) амплитуда уменьшается вдвое.

Логарифмический декремент продольных и изгибных колебаний вычисляют с погрешностью не более $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ Нп* по формуле

$$\delta = \frac{\pi(f_1 - f_2)}{\sqrt{3} f_0}, \qquad (63)$$

где f_0 – частота резонансных колебаний, Гц; f_1 и f_2 – частота колебаний с амплитудой, равной половине резонансной, Гц.

Представление о порядке величин логарифмического декремента колебания древесины дает табл. 28.

---

* Нп — "непер" – отношение двух физических величин, натуральный логарифм которого равен единице.

Указанные в таблице значения относятся к случаю действия возникающих при колебаниях напряжений вдоль волокон древесины. Если напряжения направлены поперек волокон, то, как показал В.В. Тулузаков на древесине ели, δ увеличивается примерно в 4 раза.

28. Логарифмический декремент колебаний древесины

Порода	Влажность W, %	Вид колебаний	Декремент колебаний $\delta \cdot 10^4$ Нп	Автор
Сосна	7	Изгибные	207	В.Д. Никишов (МЛТИ)
Ель	7	Изгибные	222	
Ель	8	Изгибные	173–307	И.И. Пищик (МЛТИ)
Ясень	12	Продольные	330	А.М. Боровиков и Н.Н. Дулевский (ЦНИИМОД)
Бук	12	Продольные	366	
Береза	7	Изгибные	272	В.Д. Никишов (МЛТИ)
Клен	8	Изгибные	219–377	И.И. Пищик (МЛТИ)
Тополь	12	Изгибные	288	Й. Беничак (ГНИИД, Словакия)

Величина декремента колебаний зависит от частоты. Так, по данным МЛТИ при изгибных колебаниях образцов, подвешенных в местах расположения узловых линий на двух нитях, с увеличением резонансной частоты от 0,2 до 1,5 кГц декремент изменяется незначительно; однако в диапазоне от 1,5 до 7 кГц величина этого показателя возрастает в 2-4 раза.

Сложная зависимость декремента от влажности при комнатной температуре была установлена Ф. Кольманом и Г. Крехом [по 70]. Увлажнение древесины вначале приводит к уменьшению декремента; при влажности 6-8 % его значения достигают минимума; затем при повышении влажности до предела насыщения клеточных стенок декремент возрастает, а при дальнейшем увлажнении почти не изменяется. Увеличение температуры древесины вызывает снижение величины декремента колебаний.

Показатели, характеризующие распространение звука в древесине, используются для определения ее упругих постоянных и прочности (см.гл. 5). Ультразвуковые испытания древесины позволяют обнаруживать скрытые дефекты. Так, в свежесрубленных деревьях при положительных температурах по изменению скорости распространения ультразвука в поперечных сечениях ствола можно обнаруживать внутреннюю гниль и устанавливать ее протяженность по длине ствола. Более подробно методы и результаты ультразвуковых испытаний древесины описаны в монографии [40] и учебном пособии [70]. Ультразвуковые методы применяют также для неразрушающего контроля качества (прочности, жесткости, структурной неоднородности, шероховатости) модифицированной древесины и древесных плит.

Ультразвук повышенной интенсивности и частоты используют для обработки древесины с целью улучшения ее пропитки [100].

Звукоизолирующая и звукопоглощающая способность древесины. Звукоизолирующая способность древесины характеризуется ослаблением интенсивности прошедшего через нее звука. Интенсивность звука прямо связана со звуковым давлением, возникающим в газовой или жидкой среде. Величина его может изменяться в очень широких пределах, поэтому для оценки уровня звукового давления применяют логарифмическую шкалу, в которой за начало отсчета принято давление на пороге слышимости. Уровень звукового давления измеряется в относительных логарифмических единицах – децибелах. Для примера укажем, что уровень звукового давления, соответствующего обычному разговору, равен 60 дБ, уличному шуму – 70–80 дБ. При 120 дБ в слуховом аппарате человека возникают болевые ощущения.

Величина звукоизоляционной способности древесины может быть оценена по разнице уровней звукового давления перед и за перегородкой из древесины, а также по относительному уменьшению силы звука, называемому коэффициентом звукопроницаемости. Так, при толщине 3 см звукоизоляция сосновой древесины составила 12 дБ, коэффициент звукопроницаемости 0,065; для дубовой древесины при толщине 4,5 см соответственно 27 дБ и 0,002. По строительным нормам звукоизоляция стен и перегородки должна быть не ниже 40 дБ, междуэтажных перекрытий – 48 дБ. Отсюда видно, что звукоизолирующая способность массивной древесины сравнительно невысока.

Способность древесины поглощать звук вызвана рассеянием звуковой энергии в структурных полостях и необратимыми тепловыми потерями вследствие внутреннего трения. Для характеристики этого свойства используют коэффициент звукопоглощения, представляющий собой отношение звуковой энергии, теряемой в материале, к энергии плоской падающей волны. Коэффициент звукопоглощения сосновой перегородки толщиной 19 мм в диапазоне частот 100–4000 Гц находится в пределах 0,081–0,110.

Резонансная способность древесины. Древесина широко применяется для изготовления излучателей звука (дек) музыкальных инструментов. Эту древесину называют резонансной. Хотя указанное название не совсем точно отражает физическую сущность явлений, происходящих в древесине при ее использовании в музыкальных инструментах, оно широко распространено в практике и применяется в технической литературе [77].

В смычковых, щипковых и клавишных инструментах энергия колебания струны передается деке, предназначенной для усиления звука и формирования его тембра. Значительная часть подводимой от струны к деке энергии расходуется на потери внутри материала деки, а также в местах ее закрепления на корпусе инструмента. Лишь 3–5 % общей энергии излучается в воздух в виде звука.

Качество материала, обеспечивающего наибольшее излучение звука, оценивается по предложенной акад. Н.Н. Андреевым акустической константе, м^4/(кг·с):

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}, \qquad (64)$$

где E – динамический модуль упругости, Н/м^2 или кг/(м·с^2); ρ – плотность древесины, кг/м^3.

Наибольшая величина акустической константы характерна для древесины ели, пихты и кедра, она составляет примерно 12 м^4/(кг·с). Заготовки из резонансной древесины должны согласно ГОСТ 6900-83 удовлетворять ряду требований. Ширина годичных слоев должна быть в зависимости от вида музыкального инструмента не более 3-6 мм, а содержание поздней древесины в них не более 30 % (для дек концертных роялей не более 20 %); резонансная древесина должна быть равнослойной, не содержать сучков, пороков строения (см. ниже), особенно крени и наклона волокон.

В последнее время находит применение способ определения акустической константы по кернам – цилиндрическим образцам диаметром $\approx 4{,}5$ мм, высверливаемым в радиальном направлении из ствола растущего дерева или кряжа. В этом случае K, м^4/(кг·с), вычисляют по формуле, вытекающей из (64) и (59)

$$K = \frac{C}{\rho}. \qquad (65)$$

Скорость распространения звука в древесине C (поперек волокон) измеряют ультразвуковым методом. По данным А.А. Колесниковой (МарГТУ) показатель K примерно в 3 раза меньше стандартного.

Большое значение для качества музыкальных инструментов играет однородность материала деки. Для характеристики резонансных свойств деки как анизотропной пластинки в МЛТИ предложен показатель, также названный акустической константой. Этот показатель определяется при испытаниях на изгиб защемленной по контуру круглой пластинки, вырезанной из деки.

Следует отметить, что пока еще нет исчерпывающих объективных показателей качества древесины как материала для дек музыкальных инструментов. Акустическая константа может служить лишь приближенным критерием для первичного отбора древесины. Необходимо оценивать также потери звуковой энергии в древесине, определяемые величиной декремента колебаний δ, а также возможные потери при креплении деки инструмента к его корпусу. Кроме того, известно, что наилучшими акустическими характеристиками обладает древесина длительной (50 лет и более) выдержки. Значения K и δ у длительно выдержанной и невыдержанной

древесины, по данным И.И. Пищика (МЛТИ), примерно одинаковы. Однако в древесине за время выдержки в течение нескольких десятков лет (старения) изменяется содержание гемицеллюлоз; такая древесина более устойчива к температурно-влажностным воздействиям, и изготовленные из нее инструменты обладают большей стабильностью звуковых характеристик.

§ 17. Свойства древесины, проявляющиеся при воздействии излучений

Различные виды излучений, представляющих собой электромагнитные колебания, образуют спектр, охватывающий огромный диапазон длин волн. Наибольшую длину имеют радиоволны (от десятков километров до миллиметров), их воздействие на древесину было частично рассмотрено в § 15. Ниже будут описаны свойства древесины, проявляющиеся при действии излучений, занимающих остальную часть спектра и обладающих длиной волны от 100 микрометров до 0,3 пикометра*.

Инфракрасное (ИК) излучение. При нагревании тел происходит преобразование тепловой энергии в лучистую энергию электромагнитных колебаний. При этом нагретые тела испускают невидимые инфракрасные лучи с длинами волн от 1000 до 0,77 мкм. Принято различать три области ИК-спектра: дальнюю (с длинами волн от 1000 до 50 мкм), среднюю (от 50 до 2,5 мкм) и ближнюю (от 2,5 до 0,77 мкм).

Способность древесины пропускать, поглощать и отражать инфракрасные лучи зависит от длины волны падающего излучения. В МЛТИ было установлено, что проницаемость древесины инфракрасными лучами с длиной волны $\lambda = 5 - 6{,}5$ мкм крайне мала.

Позднее исследования [25] показали, что наибольшая отражательная способность древесины наблюдается в ближней области ИК–спектра. Максимум отражения приходится на волны длиной $\lambda = 1{,}0 - 1{,}1$ мкм. При такой длине волны коэффициент отражения достигает 0,8. В дальней области коэффициент отражения значительно меньше и составляет 0,1 – 0,15.

Максимум проницаемости также находится в ближней области при длине волны $\lambda = 1{,}0 - 1{,}1$ мкм. В дальней области их диапазона проницаемость постоянна. С увеличением плотности древесины проницаемость уменьшается. Через радиальные поверхности древесины проницаемость больше, чем через тангенциальные. Повышение влажности древесины приводит к увеличению проницаемости древесины для ИК–излучений.

Значительная часть энергии инфракрасных лучей поглощается поверхностной зоной (глубиной до 3–4 мм) образцов древесины. При этом наибольшее поглощение наблюдается в дальней области ИК–диапазона.

---

* 1 пикометр (пм) = $1 \cdot 10^{-12}$ м

При длине волн 8–15 мкм коэффициент поглощения находится в пределах 0,7–0,9.

В ближней области, в частности при $\lambda = 1{,}93$ мкм, коэффициент отражения воды в десятки раз меньше, чем древесины. Поэтому повышение влажности древесины приводит к уменьшению ее отражательной способности. Это дает возможность измерять влажность поверхностных зон массивной древесины методом ИК-спектроскопии. Этот метод может быть использован для бесконтактного непрерывного измерения влажности древесных частиц в производстве древесностружечных плит. Исследования М.Д. Корсунского показали, что различия в насыпной плотности древесных частиц не оказывают влияния на результаты измерения влажности.

Поглощение инфракрасных лучей вызывает нагревание материала, что позволяет использовать инфракрасные лучи для сушки тонких сортиментов (шпона, щепы, стружки), нагревания древесины при склеивании, а также для ее стерилизации. Кроме того, инфракрасное излучение используется для сушки лакокрасочных покрытий на древесине, при этом резко увеличивается скорость сушки и улучшается качество покрытия.

Световое излучение. Видимое световое излучение охватывает часть спектра с длинами волн 0,76–0,4 мкм и включает последовательно красные, оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синие и фиолетовые лучи. Световые лучи обладают большей проникающей способностью, чем инфракрасные, и могут быть использованы для обнаружения скрытых дефектов внутри древесины или изделий из нее. Например, перемещая лист фанеры толщиной до 3 мм по столу над прорезью, освещенной сильным источником света (мощной лампой с рефлектором), можно обнаружить швы, сучки и трещины во внутреннем слое, а также дефекты склеивания. Если использовать чувствительную приемную аппаратуру, то, по данным ЛТА, можно зафиксировать лучи света, прошедшие через образцы древесины осины, сосны, ели толщиной до 35 мм, а березы – до 15 мм.

Как уже отмечалось ранее, при падении пучка световых лучей на поверхность древесины часть энергии отражается. Измеряя интенсивность отраженного светового потока, можно судить о древесной породе, качестве поверхности и наличии пороков, изменяющих окраску древесины. Важное преимущество световой дефектоскопии – полная безопасность для обслуживающего персонала.

В последнее время в связи с созданием лазеров – источников света (монохроматического когерентного* излучения) высокой направленности и большой плотности успешно развивается л а з е р н а я технология, которая находит применение в деревообработке.

При воздействии лазерного излучения происходит переход электромагнитной энергии в тепловую, что позволяет использовать лазеры в качестве своеобразного режущего инструмента. По данным Т. Ореха и

---

* Когерентность – согласованное протекание во времени нескольких волновых процессов.

К. Клескеновой (ГНИИД, Словакия), полученным при использовании газового (CO_2) лазера, ширина "реза" зависит от выходной мощности. Так, при обработке образцов ели толщиной 25 мм ширина "реза" при мощности 150 Вт составила 0,75 мм, а при мощности 340 Вт достигла 0,9 мм. Лазерное "резание" вызывает по существу сублимацию древесины [100] и сопровождается обугливанием или потемнением поверхностных зон обрабатываемого материала. Этот способ обработки может быть использован для фигурного раскроя листовых древесных материалов, резьбы, граверных работ и т. п.

Ультрафиолетовое излучение. Эти лучи имеют длины волн от 0,38 мкм до 10 нм*. Ультрафиолетовое излучение вызывает свечение – люминесценцию некоторых веществ. Каждое люминесцентное вещество дает излучение определенного спектрального состава. Свечение, которое исчезает сразу же после прекращения облучения объекта, называется флуоресценцией.

Из 150 исследованных в ЛТА древесных пород флуоресценция была обнаружена у подавляющего большинства их (90 %). Чаще всего облученная древесина светится фиолетовым цветом (40 % исследованных пород), синим или голубым цветом светятся 25 % пород, темно-фиолетовый цвет имеет свечение 15 % пород и реже всего наблюдается желтое и зеленожелтое свечение (10 %).

Дальнейшее изучение люминесценции древесины было проведено Б.К. Лакатошем [40].

Некоторые результаты этих исследований приведены в табл. 29.

29. Характеристика цвета и интенсивности флуоресценции древесины

Порода	Цветовой тон (длина волны), нм	Чистота, %	Интенсивность (коэффициент яркости), %
Ель	479	6,5	15,5
Сосна	495	5,4	17
Пихта	536	3	12
Лиственница	557	4,5	12
Дуб, ядро	532	3,5	27
Береза	505	2,7	24
Осина	484	7	25

Цвет и интенсивность свечения зависят не только от породы, но и от состояния древесины (степени загнивания, влажности и температуры, шероховатости и т. д.). Все это позволяет использовать люминесценцию в качестве средства для обнаружения пороков древесины, контроля качества обработки и т. д.

* 1 нанометр (нм) = 10^{-9} м = 10 Å.

Рентгеновское излучение. Рентгеновское излучение охватывает часть спектра электромагнитных волн с длиной примерно от 5 нм до 0,6 пм. Рентгеновские лучи, проходя через исследуемый объект, по-разному поглощаются отдельными его участками. Чем выше плотность участка, тем меньше интенсивность прошедших через него лучей. Располагая по ходу лучей за исследуемым объектом светящийся экран, можно наблюдать на нем внутренние дефекты объекта (пустоты, включения и т. п.).

Рентгеновскими лучами могут быть просвечены крупные круглые сортименты (диаметром 40–50 см); эти лучи позволяют также просвечивать стволы растущих деревьев при помощи передвижных установок.

Используя рентгеновские лучи, можно обнаружить в древесине ряд скрытых пороков – заросшие сучки, ходы насекомых, внутренние трещины, гнили, пустоты, а также металлические включения.

Повышение влажности снижает проницаемость древесины рентгеновскими лучами. Это свойство может быть использовано для определения величины и характера распределения влажности по сечению сортимента в процессе сушки. Рентгеновские лучи применяются также для изучения плотности древесины и тонкого строения клеточной стенки.

Ионизирующие излучения. Ионизирующие (ядерные) излучения возникают при распаде радиоактивных веществ, делении атомов тяжелых ядер, ядерных реакциях. Различают следующие виды ядерных излучений: потоки заряженных частиц, электромагнитное излучение и потоки незаряженных частиц (нейтронов). Источники первых двух видов излучений – радиоактивные вещества. Эти излучения называются радиоактивными. Источниками нейтронных излучений служат ядерные реакторы, различные ускорители элементарных частиц; препараты, содержащие смеси радиоактивных веществ с веществами, испускающими нейтроны.

Лучше пока исследовано воздействие на древесину радиоактивных излучений. Альфа-лучи плохо проникают в древесину; бóльшая проникающая способность у бета-лучей и еще лучшая – у гамма-лучей.

Возможность применения бета-излучений для изучения свойств древесины была исследована в УЛТИ. Источниками излучения служили изотопы – стронций-90 и рутений-106. Было установлено уменьшение проницаемости бета-лучей с увеличением плотности древесины (однако у березы проницаемость оказалась меньше, чем у дуба). Наблюдалось увеличение поглощения бета-лучей с повышением влажности древесины и увеличением размеров (толщины) объекта. В ЦНИИМОДе, используя бета-излучение средней жесткости (источник – стронций-90 и иттрий-90), по ослаблению интенсивности прошедшего через объект излучения определяли влажность древесины в процессе ее сушки.

Исследования проницаемости древесины сосны, ели, дуба, бука, березы гамма-лучами были проведены [40] на установке с препаратом кобальт-60. Было установлено, что наиболее легко гамма-лучи проникают в

направлении вдоль волокон (особенно у дуба). С увеличением плотности древесины поглощение энергии увеличивается; зависимость между этими факторами линейная. Наибольший коэффициент пропорциональности характерен для равноплотной древесины бука. С повышением влажности количество поглощаемой энергии резко возрастает; оно прямо пропорционально толщине облучаемого материала.

Гамма-лучи применяют для измерения плотности древесины; они могут быть использованы для определения ее влажности, а также для контроля размеров деталей бесконтактным способом в непрерывном производственном потоке.

Имеются перспективы для применения гамма-лучей в качестве средства обнаружения скрытых дефектов древесины. Наиболее подходящим для обнаружения гнилей является мягкое гамма-излучение тулия-170. Институтом электронной интроскопии (Томск) совместно с Институтом леса и древесины им. В.Н. Сукачева (Красноярск) был разработан гамма-дефектоскоп для круглых лесоматериалов [31].

Нейтронное излучение, реагирующее на присутствие в древесине водорода, в последнее время успешно используется для неразрушающих испытаний. Эти методы испытаний дополняя рентгенотомографию позволяют установить распределение плотности (денситограммы) и влажности в древесине.

ГЛАВА 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

§ 18. Общие сведения о механических свойствах древесины

Принято различать следующие свойства древесины, проявляющиеся под действием механических нагрузок: прочность – способность сопротивляться разрушению; деформативность – способность сопротивляться изменению размеров и формы; технологические и эксплуатационные механические свойства.

Механические свойства древесины могут проявляться при действии статических (плавно возрастающих), ударных (действующих внезапно полной величиной), вибрационных (попеременно изменяющих величину и направление) и долговременных (действующих весьма продолжительное время) нагрузок.

Показатели механических свойств древесины определяют обычно при растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге (реже при кручении). Поскольку древесина – анизотропный материал ее испытывают в разных направле-

ниях: вдоль или поперек волокон (в радиальном или тангенциальном направлении).

В древесине, как в любом другом материале, под действием внешних нагрузок возникают силы сопротивления. Эти силы, приходящиеся на единицу площади сечения тела, называются напряжением и выражаются в Н/мм^2 или МПа*. Изменение размеров и формы тела под действием нагрузок называется деформацией. Напряжения и деформации могут возникать в теле и без участия внешних нагрузок вследствие неоднородных изменений его объема при сушке, увлажнении, нагревании и т. д. (см. гл. 4 § 11, 14). Напряжения, действующие по нормали (перпендикуляру) к сечению тела, называются нормальными и обозначаются буквой σ (сигма). Напряжения, действующие в плоскости сечения, называются касательными и обозначаются буквой τ (тау). Максимальное напряжение, предшествующее разрушению тела называют пределом прочности.

При установлении параметров технологических процессов механической и гидротермической обработки древесины, расчете элементов деревянных конструкций и в других случаях необходимо аналитическое определение напряженного и деформированного состояния древесины. Многие конкретные задачи могут быть решены методами теории упругости и сопротивления материалов, основанными на допущении, что материал, воспринимающий усилия, наделен свойствами идеально упругого тела. Для такого материала характерна способность практически мгновенно (со скоростью звука) деформироваться при приложении нагрузки и столь же быстро и полностью восстанавливать размеры и форму после снятия нагрузки. Зависимость между напряжениями и деформациями (относительными удлинениями – укорочениями или сдвигом) идеально упругого тела линейная и выражается законом Гука. Более общие и строгие решения получают на основе теории упругости; частные и в значительной мере приближенные, но, как правило, достаточные для большинства инженерных расчетов – методами сопротивления материалов.

Физическая зависимость, на которой основана теория упругости, называется обобщенным законом Гука. Она представляет собой систему уравнений, в которые входят составляющие деформаций и напряжений, действующих на трех взаимно перпендикулярных площадках (компоненты тензоров деформаций и напряжений). Связь между напряжениями и деформациями осуществляется через упругие постоянные.

У древесины близкая к линейной зависимость между напряжениями и деформациями наблюдается при кратковременных нагрузках до величины напряжений, соответствующей пределу пропорциональности. При этом можно с приближением считать, что древесина подчиняется закону Гука. Структурные особенности древесины определяют явно вы-

* 1 МПа = 10^6 Па = 10^6 Н/м^2 = 1 Н/мм^2

раженные различия упругих свойств по разным направлениям, т. е. упругую анизотропию. Следовательно, применительно к древесине должна использоваться теория упругости анизотропного тела.

Ряд работ, проведенных Н.Н. Андреевым, А.П. Павловым, А.Н. Митинским, В.О. Самуйлло, Н.Л. Леонтьевым, Е.К. Ашкенази, Ю.С. Соболевым и др., позволили установить характер упругой анизотропии древесины и получить значения упругих постоянных для разных объемов древесины.

Малым объемам древесины, в которых пренебрегают кривизной годичных слоев, можно с достаточным основанием приписать схему ортогональной анизотропии, т. е. считать древесину ортотропным телом, которое имеет три взаимно перпендикулярные плоскости структурной симметрии, являющиеся одновременно плоскостями симметрии механических свойств. Любые два направления, симметричные относительно каждой такой плоскости, эквивалентны в отношении упругих свойств и прочности. Направления, нормальные к плоскостям симметрии, называются осями симметрии или главными осями анизотропии.

При ортогональной схеме анизотропии древесины плоскостями симметрии являются две продольные плоскости – радиальная *ar* и тангенциальная *at* и одна плоскость перпендикулярная направлению волокон – *rt* (рис. 44). Нормали этих плоскостей совпадают с направлениями осей структурной симметрии древесины: *a* – вдоль волокон, *r* – радиальное направление поперек волокон, *t* – тангенциальное направление поперек волокон (по касательной к годичным слоям).

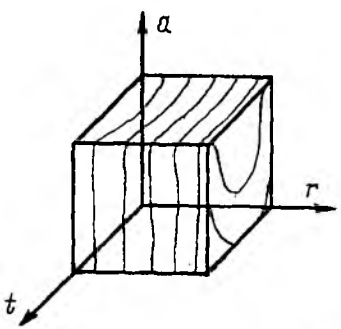


Рис. 44. Главные оси анизотропии древесины как ортотропного тела

Упругие деформации ортотропного тела для общего случая действия нормальных σ и касательных τ напряжений по всем трем площадкам симметрии определяются согласно обобщенному закону Гука следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon_a &= \frac{\sigma_a}{E_a} - \frac{\mu_{ar}\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{at}\sigma_t}{E_t};\ \gamma_{ta} = \frac{\tau_{ta}}{G_{ta}};\\
\varepsilon_r &= \frac{\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{rt}\sigma_t}{E_t} - \frac{\mu_{ra}\sigma_a}{E_a};\ \gamma_{ar} = \frac{\tau_{ar}}{G_{ar}};\\
\varepsilon_t &= \frac{\sigma_t}{E_t} - \frac{\mu_{tr}\sigma_r}{E_r} - \frac{\mu_{ta}\sigma_a}{E_a};\ \gamma_{rt} = \frac{\tau_{rt}}{G_{rt}},
\end{aligned}\right\} \qquad (66)$$

где ε – относительное удлинение или укорочение; γ – относительный сдвиг.

В уравнениях (66) упругие постоянные выражены через применяемые в технике показатели: модули упругости E, модули сдвига G и коэффициенты поперечной деформации μ. При этом первый индекс у μ указывает направление поперечной деформации ε', второй – направление вызвавшего ее напряжения σ. Двойные индексы у G соответствуют направлениям осей симметрии, между которыми происходит изменение прямого угла. При определении упругих деформаций ортотропного тела необходимо знать 12 показателей, из которых 9 – независимые.

Для сравнения следует напомнить, что для определения упругих деформаций изотропного тела необходимы лишь три характеристики, из которых две – независимые.

Для крупных образцов (сортиментов) древесины, у которых нельзя пренебречь кривизной годичных слоев, а также при отсутствии правильной ориентации сечений элементов конструкции по отношению к годичным слоям (доски, бруски) есть основание применять схему трансверсальной изотропии. В этом случае предполагается, что для всех направлений, лежащих в плоскости перпендикулярной волокнам, механические свойства одинаковы. Следовательно, учитываются только различия между свойствами вдоль и поперек волокон. У трансверсально изотропного (транстропного) тела пять независимых характеристик упругости.

Между анизотропией упругих и прочностных свойств существует тесная связь. Однако различия в показателях прочности по разным структурным направлениям выражены слабее, чем в показателях упругих свойств.

Анизотропия механических свойств может быть наглядно представлена в виде геометрической фигуры (поверхности анизотропии), изображающей изменение показателя какого-либо свойства в зависимости от направления усилия. Например, на рис. 45 изображена поверхность анизотропии модуля упругости древесины ели. Подобный же вид имеют поверхности анизотропии предела прочности. Поверхность, изображенная на рис. 45, имеет явно выраженные три взаимно перпендикулярные плоскости симметрии – *ar*, *at*, *rt*, что соответствует расчетной схеме ортотропного тела для малых объемов древесины. Наибольшая жесткость (и прочность) древесины соответствует направлению усилия вдоль волокон (по оси *a*), наименьшая – в поперечном направлении, составляющем угол около 45 ° с тангенциальным *t* и радиальным *r* направлениями.

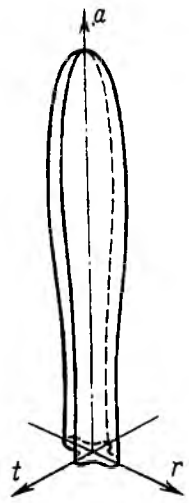


Рис. 45. Поверхность анизотропии модуля упругости древесины ели [по 5]

При расчете прочности элементов деревянных конструкций учитывают величину действующих усилий (напряжений), а также их ориентацию по отношению к волокнам и годичным слоям. Наиболее опасны растягивающие напряжения, действующие поперек волокон, т. е. перпендикулярно площадкам *ar* и *at* (см. рис. 44), и приводящие к появлению в древесине трещин, параллельных волокнам. Хрупко разрушается древесина и при скалывании из-за касательных напряжений, действующих, по указанным площадкам.

В некоторых элементах деревянных конструкций возникают сложные напряженные состояния, при которых нормальные (главные) напряжения действуют одновременно по двум или трем взаимно перпендикулярным площадкам. В этом случае расчет прочности ведется по так называемым критериям прочности древесины как анизотропного материала, подробно рассмотренным в работе [5]. Например, для случая плоского (двухосного) напряженного состояния, при котором по двум взаимно перпендикулярным площадкам, параллельным оси *t*, действуют главные растягивающие напряжения, условие прочности имеет вид:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\sigma_a^2 + c\sigma_r^2 + e\sigma_a\sigma_r + d\tau_{ra}^2}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_r^2 + +\tau_{ra}^2 + \sigma_a\sigma_r}} \le [\sigma_a]; \\ &c = \frac{\sigma_{W_a}}{\sigma_{W_r}};\ b = \frac{\sigma_{W_a}}{\sigma_{W_{ar}}^{45}};\ d = \frac{\sigma_{W_a}}{\tau_{W_{ra}}}; \\ &e = 4b - c - d - 1;\ [\sigma_a] = \frac{\sigma_{W_a}}{K}, \end{aligned}\right\} \qquad (67)$$

где σ_a, σ_r, τ_{ra} – нормальные σ и касательные τ напряжения, действующие по площадкам, перпендикулярным к осям *a* и *r*; σ_{W_a}, σ_{W_r}, $\sigma_{W_{ar}}^{45}$ – пределы прочности древесины данной влажности *W* при растяжении по оси *a*, по оси *r* и по направлению, составляющему угол 45° с осями *a* и *r*; $\tau_{W_{ra}}$ – предел прочности при скалывании вдоль волокон по тангенциальной плоскости, так как касательные напряжения действуют по площадке перпендикулярной оси *r* в направлении оси *a*; $[\sigma_a]$ – расчетное сопротивление при

растяжении вдоль волокон; K – коэффициент запаса, принятый условно одинаковым при всех видах нагружения.

Таким образом, для расчета условий сохранения прочности детали при плоском напряженном состоянии необходимо знать механические характеристики древесины не только вдоль и поперек волокон, но и в диагональном направлении.

Различают следующие режимы нагружения: статический, динамический, вибрационный и длительный. Последние два режима связаны с продолжительным приложением нагрузок. В этих условиях заметно проявляется зависимость деформативности древесины от времени.

Древесина, или, точнее, материал клеточных стенок, в основном представляет собой комплекс природных полимеров, имеющих длинные гибкие цепные молекулы. Такая особенность строения полимеров определяет особый характер их поведения под нагрузкой. При приложении усилий к полимеру могут возникнуть следующие три вида деформаций: у п р у г и е – вследствие обратимого изменения средних междучастичных расстояний; в ы с о к о э л а с т и ч е с к и е, связанные с обратимой перегруппировкой частиц (звеньев цепных молекул); при этом объем тела не изменяется; в я з к о - т е к у ч и е, обусловленные необратимым смещением молекулярных цепей; объем тела при этом также не изменяется.

Полимеры могут находиться в трех физических состояниях – стеклообразном, высокоэластическом и вязко-текучем. Каждое из них характеризуется преобладающим типом деформаций. Для первого состояния характерны обратимые упругие деформации, для второго – также обратимые высокоэластические, для третьего – необратимые вязко-текучие.

Переход полимеров из одного состояния в другое обычно происходит при изменении температуры, критические значения которой называются температурой с т е к л о в а н и я t_c и температурой т е к у ч е с т и $t_т$. Способность к увеличению деформации достигается не только повышением температуры, но и введением пластификатора. Теоретические исследования деформационных процессов полимеров проводятся на основе реологии.

Р е о л о г и я – наука, устанавливающая наиболее общие законы развития во времени деформаций и течения любых веществ. Различают ф е н о м е н о л о г и ч е с к у ю и м о л е к у л я р н у ю реологию. Первая из них характеризует внешние проявления механических свойств материала под действием нагрузки во времени, вторая изучает молекулярный механизм деформаций. Для феноменологической и отчасти молекулярной реологии характерно изучение поведения реального материала на идеализированных, чаще всего механических моделях. На рис 46,а показана реологическая модель, состоящая из последовательно соединенных моделей упругого тела Гука и эластического тела Кельвина. Гуково тело символически изображено пружиной с модулем упругости E_2, Кельвиново тело – в виде

параллельно соединенных пружины (модуль упругости E_1) и демпфера с жидкостью, имеющей коэффициент вязкости η. Зависимость, связывающая напряжения σ и деформации ε такой модели, имеет вид

$$\sigma + n\dot{\sigma} = nH\dot{\varepsilon} + E\varepsilon, \tag{68}$$

где $H = E_2$ – мгновенный модуль упругости; $E = \dfrac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ – длительный модуль упругости; $n = \dfrac{\eta}{E_1 + E_2}$ – время релаксации.

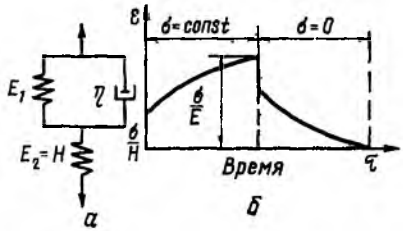


Рис. 46. Реологическая модель (*а*) и закономерности ее деформирования (*б*)

На рис. 46,б показаны закономерности деформирования модели. При приложении нагрузки мгновенно появляется деформация σ/H. Далее при постоянном напряжении $\sigma = const$ возрастают по криволинейному закону эластические деформации, и при длительной выдержке деформация стремится к величине σ/E. После разгрузки немедленно возвращается упругая деформация, а затем с течением времени полностью исчезает эластическая деформация. Таким образом, указанная модель отражает поведение тела, деформации которого вполне обратимы.

Из формулы (68) видно, что поведение моделей и, следовательно, реальных тел можно описать при помощи соотношений, содержащих в общем случае напряжения, деформации и их производные по времени. Такие соотношения называются реологическими уравнениями; параметры, характеризующие модель (материал), называются реологическими коэффициентами, а напряжения и деформации – реологическими переменными.

Реологические коэффициенты можно получить при двух основных видах испытаний – на ползучесть и релаксацию. В первом случае ведется наблюдение за величиной деформации образца, возникающей под действием мгновенно приложенного и постоянного на протяжении испытания напряжения. Во втором случае образец мгновенно нагружают и возникшая начальная деформация, которая на протяжении опыта поддерживается постоянной. При этом величина начальных напряжений уменьшается. Кроме того, реологические испытания часто проводят при постоянной скорости возрастания напряжений или при постоянной скорости деформации.

К числу эксплуатационных и технологических свойств, проявляющихся при воздействии усилий, можно отнести твердость, ударную вязкость, износостойкость, способность удерживать крепления и др. Сюда же относится и обрабатываемость древесины режущими инструментами. Вопросы, характеризующие это свойство: качество образованной резцом поверхности, влияние материала на затупление резца, удельная работа резания и др. – рассматриваются в руководствах по резанию древесины.

§ 19. Механические испытания древесины; принципы, общие требования и процедура

Области применения методов испытаний и их стандартизация. Определение показателей механических и физических свойств древесины, характеризующих ее как материал, проводят для конкретных насаждений. Эти испытания позволяют учесть для каждой исследуемой породы влияние совокупности лесоводственных факторов на показатели физико-механических свойств чистой, т. е. без видимых пороков, древесины. Физико-механические испытания проводят и для установления влияния на свойства древесины технологических процессов ее обработки (сушки, пропитки, пропарки и др.), длительного пребывания в воде (топляковая древесина) или в земле, а также пороков. Иногда возникает необходимость определения показателей механических свойств чистой древесины круглых лесоматериалов, пиломатериалов и заготовок. Указанные выше области использования механических испытаний относятся к исследованиям древесиноведческого характера. Для оценки потребительских свойств лесоматериалов с присущими им пороками древесины проводят испытания, которые рассматриваются в товароведческой части курса.

Результаты испытаний можно сопоставить лишь в том случае, если они выполнены по одной и той же методике. Это вызывает необходимость стандартизации методов испытаний древесины, т. е. разработку единых требований к форме и размерам образцов, применяемому оборудованию, правилам проведения самих испытаний, способам вычисления показателей свойств и т. д.

Первый стандарт на методы физико-механических испытаний древесины ОСТ ВКС-7653, разработанный Л.М. Перелыгиным, был утвержден в 1935 г. Одновременно был разработан ОСТ НКЛес 196 на метод выбора модельных деревьев для исследования свойств древесины насаждений (А.И. Кондратьев и Н.Н. Абрамов). В дальнейшем эти стандарты были пересмотрены и заменены в 1938 г. ОСТ НКЛес 250 (Л.М. Перелыгин), в 1952 г. ГОСТ 6336-52 (Е.И. Савков, Н.Л. Леонтьев), а в 1965 г. – 18 отдельными стандартами ГОСТ 11483-65 – ГОСТ 11500-65 (Н.Л. Леонтьев).

Количество стандартов резко возросло в 1970–1974 гг., когда были утверждены ГОСТ 16483.0-70 – ГОСТ 16483.31-74. В настоящее время

действует около четырех десятков принятых ранее стандартов (регистрационные номера 16483.0...39 и др.) на методы определения показателей физико-механических свойств древесины.

При испытаниях используют малые чистые (без пороков) образцы древесины. Они должны быть достаточно малого поперечного сечения во избежание влияния кривизны годичных слоев. При этом они должны включать в себя достаточно большое количество характерных для данной породы анатомических элементов, т. е. содержать по крайней мере 4–5 годичных слоев. В наших стандартах предусмотрены образцы с базисным поперечным сечением 20×20 мм (хотя у некоторых образцов размеры поперечного селения несколько отличаются от указанных).

Годичные слои на торцовых поверхностях образцов должны быть параллельны одной паре противоположных граней и перпендикулярны другой. Направление волокон древесины должно совпадать с продольной осью образца. Такие образцы позволяют получить показатели свойств древесины как ортотропного материала.

Отбор и подготовка образцов. Для исследования свойств древесины насаждений подопытный материал заготавливают согласно ГОСТ 16483.6–80, предусматривающему правила закладки пробных площадей в насаждениях, выбора модельных деревьев на этих площадях и разделки модельных деревьев на кряжи. Далее кряжи распиливают на доски, из которых изготовляют бруски (заготовки). Бруски используют для получения образцов.

Материал для образцов с целью определения показателей свойств чистой древесины круглых лесоматериалов, пиломатериалов и заготовок отбирают в соответствии с техническими условиями или другой документацией, утвержденной в установленном порядке.

Отбор материала в виде бревен, кряжей, а также досок и заготовок радиальной распиловки для сравнительных испытаний с целью определения влияния технологической обработки на свойства древесины проводится согласно ГОСТ 16483.21–72. Этот стандарт предусматривает правила отбора примерно одинаковых по исходным свойствам образцов путем выпиливания смежных образцов из одной возрастной зоны ствола (по годичным слоям или вдоль волокон), определения для древесины хвойных пород показателей макроструктуры (ширины годичных слоев и содержания поздней древесины) или на основании неразрушающих испытаний (см. ниже).

Показатели механических свойств древесины сильно зависят от ее влажности. При увлажнении древесины до предела насыщения клеточных стенок, показатели всех механических свойств резко уменьшаются. Дальнейшее повышение влажности древесины (свыше 30 %) практически не отражается на показателях механических свойств.

Следовательно, сравнивать показатели свойств древесины, имеющей разную влажность (в области ниже 30 %), нельзя. Для этой цели необходимо иметь показатели, относящиеся к древесине определенной, нормализованной влажности. Как уже отмечалось, нормализованная влажность составляет 12 %. Такая величина равновесной влажности древесины достигается в среднем при выдерживании ее при 20±2° С и относительной влажности воздуха 65±5 %.

Рекомендуется доски, бруски (заготовки) перед разделкой на образцы выдерживать при 20±5° С и относительной влажности воздуха φ = 65±15 % или даже подвергать камерной сушке (по мягким режимам при температуре не выше 60° С), доводя влажность древесины до 9–15 %. Изготовленные образцы кондиционируют по влажности, выдерживая при указанных выше нормализованных параметрах воздуха до равновесной влажности. После этого образцы помещают в герметичные сосуды (эксикаторы, стеклянные банки с притертыми крышками и т. д.), где они хранятся до момента испытаний.

Немедленно после окончания испытаний определяют фактическую влажность образцов и подсчитанные показатели механических свойств приводят к влажности 12 %. Для пересчета показателей механических свойств (кроме показателей деформативности) к нормализованной влажности используют формулу

$$B_{12} = B_W\left[1+\alpha\left(W-12\right)\right], \tag{69}$$

где B_{12} – показатель данного свойства при влажности 12 %; B_W – показатель свойства при влажности W; W – влажность древесины в момент испытаний; α – поправочный коэффициент на влажность, показывающий насколько изменяется показатель данного свойства при изменении влажности на 1 %.

Для пересчета значений модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации используют формулу

$$C_{12} = \frac{C_W}{1-\alpha\left(W-12\right)}, \tag{70}$$

где C_{12} – показатель свойства при влажности 12 %; C_W – показатель свойства при влажности W; W – влажность древесины в момент испытаний; α – поправочный коэффициент на влажность.

Для придания образцам нормализованной влажности требуется 1,5–2 мес. Не всегда имеется возможность обеспечить такую длительную выдержку материала перед испытаниями. Поэтому во всех ГОСТах на механические испытания древесины в дополнение к основному методу испытаний предусмотрены ускоренные методы [42]. Они допускают испытания образцов с влажностью равной или выше предела насыщения клеточных

стенок. При этом для свежесрубленной древесины отпадает необходимость в выдержке образцов; не требуется и определения фактической влажности, так как за пределом насыщения клеточных стенок показатели механических свойств древесины, как уже отмечалось, не зависят от влажности.

Кроме того, для пяти наиболее распространенных видов механических испытаний с целью определения пределов прочности при сжатии и скалывании вдоль волокон, предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе, а также ударной вязкости при изгибе согласно ГОСТ 16483.3–84 – 16483.5–73, 16483.9–73 и 16483.10–73 допускается использование некондиционированных образцов при любой влажности.

Приведение полученных показателей прочности и деформативности B_W к нормализованной влажности B_{12} можно осуществлять по следующим формулам:

$$B_{12} = B_W K \tag{71}$$

или

$$B_{12} = \frac{B_W}{K_{12}^W}. \tag{72}$$

Значения коэффициентов K или K_{12}^W в зависимости от плотности древесины и средние значения этих коэффициентов для отдельных групп пород приведены в ГОСТах, а также в [9].

Оборудование и процедура испытаний. Для механических испытаний используют универсальные машины с электромеханическим, гидравлическим или ручным приводом; устройствами для закрепления образца и передачи на него нагрузки, измерения усилий, записи кривых «нагрузка–деформация».

Для измерения размеров образцов и их деформаций во время испытаний используют приборы: микрометры, индикаторы, рычажные тензометры, тензорезисторы и др. с погрешностью измерения от 0,1–0,001 мм. Для некоторых видов испытаний применяют специальные испытательные машины (например, маятниковые копры).

Приборы для измерения деформации, а также специальное оборудование для механических испытаний рассматриваются в ряде руководств [70, 42].

Испытания следует проводить в помещении лаборатории, в котором с помощью кондиционеров поддерживается температура воздуха 20° С и относительная влажность воздуха 65±5 %, что обеспечивает сохранение во время испытаний по основному методу нормализованной влажности образцов. При применении ускоренных методов образцы до и в процессе испытания должны находиться в условиях, исключающих изменение их начальной влажности.

После определения по соответствующим формулам показателей исследуемого свойства и приведения показателей к нормализованной влажности выполняют статистическую обработку опытных данных.

§ 20. Статистический анализ результатов испытаний древесины

Показатель X, характеризующий любое физико-механическое свойство древесины, отличается большой изменчивостью. Результаты его измерений при повторении испытаний оказываются различными. Поэтому исчерпывающее представление о данном показателе можно было бы получить по результатам испытаний бесконечно большого числа образцов. Все множество полученных таким образом значений данного показателя называется г е н е р а л ь н о й с о в о к у п н о с т ь ю. Эту статистическую совокупность характеризует ряд параметров. Генеральное среднее $\bar{X}$, т. е. среднее арифметическое по всему множеству значений, – основной параметр совокупности. Генеральная дисперсия σ^2 и генеральное среднее квадратическое отклонение σ характеризуют меру рассеяния единичных результатов наблюдений, т. е. абсолютную величину их разброса вокруг среднего значения. Генеральный вариационный коэффициент V выражает в относительных величинах изменчивость единичных результатов по сравнению со средним значением. Экспериментальным путем точно определить указанные параметры нельзя; можно лишь приближенно оценить их, используя результаты наблюдений, составляющих лишь часть генеральной совокупности – в ы б о р к у. Чем больше объем выборки, т. е. чем больше число объектов n, тем точнее оценки, поскольку

$$\bar{X} = \lim_{n\to\infty} \bar{x};\ \sigma^2 = \lim_{n\to\infty} S^2, \tag{73}$$

где $\bar{x}$ – выборочное среднее; S^2 – выборочная дисперсия.

Для выборочной совокупности, состоящей из результатов испытаний однородных, т. е. не подлежащих дальнейшему делению, элементарных объектов определяют статистические параметры по следующим формулам:

выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \tag{74}$$

где x_i – результат единичного испытания;

выборочная дисперсия

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}{n}\right]; \qquad (75)$$

среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{S^2}; \qquad (76)$$

выборочный вариационный коэффициент, %,

$$v = \frac{S}{\bar{x}}\ 100; \qquad (77)$$

дисперсия выборочного среднего

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n}; \qquad (78)$$

среднее квадратическое отклонение выборочного среднего

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2} = \frac{S}{\sqrt{n}}; \qquad (79)$$

относительная погрешность определения генерального среднего с доверительной вероятностью α

$$d_\alpha = t_\alpha \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} = t_\alpha \frac{v}{\sqrt{n}}. \qquad (80)$$

Тогда доверительный интервал генерального среднего определяется соотношением

$$\bar{x} - t_\alpha S_{\bar{x}} \le \bar{X} \le \bar{x} + t_\alpha S_{\bar{x}}. \qquad (81)$$

Входящий в уравнения (80) и (81) квантиль распределения Стьюдента t_α используют при ограниченном объеме выборки. В данном случае он характеризует отклонение значения случайной величины $\bar{x}$ от ее среднего значения $\bar{X}$, отнесенное к среднему квадратическому отклонению $S_{\bar{x}}$. Значение коэффициента t_α существенно зависит от объема выборки n (при $n \le 31$) и требуемой доверительной вероятности α; его можно найти в таблице приложения к ГОСТ 16483.0–89 или в других изданиях.

Пример. При испытании 25 образцов древесины сосны на сжатие вдоль волокон для этой выборки были определены следующие статистические характеристики предела прочности: $\bar{x} = 48$ МПа, $S = 5{,}76$ МПа и $S_{\bar{x}} = 1{,}15$ МПа. При доверительной вероятности 0,95 и $n = 25$ квантиль распределения Стьюдента $t_\alpha = 2{,}064$. Следовательно, относительная погрешность определения генерального среднего в этом случае согласно

(80) составляет 4,95 %, а его доверительный интервал в соответствии с (81) равен 48±2,37 МПа. Это означает, что генеральное среднее предела прочности при его определении по любым другим подобным выборкам в 95 случаях из 100 окажется в диапазоне 45,63–50,37 МПа.

Количество объектов испытаний (образцов)

$$n = \frac{t_\alpha^2 v^2}{d_\alpha^2}. \qquad (82)$$

В древесиноведении принято оценивать генеральное среднее при доверительной вероятности 0,95 с относительной погрешностью $d_\alpha = 5$ %, если коэффициент вариации $v \le 20$ % , и с погрешностью $d_\alpha = 10$ %, если $v > 20$ %. Для предварительного определения минимального количества образцов принимают ориентировочные значения коэффициента вариации, равные, например, для пределов прочности при сжатии вдоль волокон 13 %, при статическом изгибе 15 %, а для ударной вязкости 32 %. Более полные данные о коэффициентах вариации приведены в таблицах ССД «Древесина. Показатели физико-механических свойств малых образцов без пороков». Квантиль Стьюдента находят, задавшись предполагаемым значением n. Если рассчитанное по формуле (82) значение n окажется больше или меньше предполагаемого, расчет повторяют до тех пор, пока различие между ними будет не более 1. Каждый раз при этом t_α принимают соответствующим n, полученному в предыдущем расчете.

В том случае, когда количество образов в выборке превышает 31, вместо квантиля распределения Стьюдента в формулу (82) подставляют квантиль нормального распределения.

Если по результатам испытаний данной серии из n образцов будет получен такой коэффициент вариации v, что относительная погрешность d_α окажется больше допустимой, по формуле (82) устанавливают необходимый новый объем выборки, исходя из фактического значения v. Для этого испытывают дополнительное количество образцов или проводят повторные испытания.

Описанный порядок статистической обработки результатов испытаний выполняется при так называемом одностадийном отборе однородных объектов для формирования выборки. Часто генеральная совокупность значений данного показателя свойств древесины должна характеризовать сложные неоднородные структуры (насаждение, дерево, партия пиломатериалов и т. д.). В этих случаях следует применять многостадийный способ формирования выборки, проводя на каждой (или хотя бы на первой) стадии случайный отбор естественно образованных сложных, затем простых групп и, наконец, отдельных однородных элементов структуры, например, в такой последовательности: модельное дерево – кряж – образец для испытаний или доска – брусок (заготовка) – образец.

Многостадийный отбор позволяет обеспечить заданную точность статистического обследования при сокращенном количестве использованных деревьев, кряжей, досок. Это достигается за счет учета дисперсии в пределах объектов каждой стадии отбора. При установлении объема выборки на каждой стадии отбора учитываются расходы, обусловленные стоимостью объекта, затратами на его изготовление и испытания.

При двухстадийном отборе (например, сначала досок из партии, а затем образцов из доски) количество отдельных элементов (образцов), отбираемых на второй стадии,

$$r = \frac{S_{22}}{S_{21}}\sqrt{\frac{C_{21}}{C_{22}}} = \frac{\mathrm{v}_{22}}{\mathrm{v}_{21}}\sqrt{\frac{C_{21}}{C_{22}}}; \qquad (83)$$

число отбираемых на первой стадии групп элементов (досок)

$$n_2 = \frac{t_\alpha^2\left(\mathrm{v}_{21}^2 + \mathrm{v}_{22}^2/r\right)}{d_\alpha^2}. \qquad (84)$$

В формулах (83) и (84) S и v (дисперсия и коэффициент вариации) при двухстадийном отборе характеризуют рассеяние между группами элементов на первой стадии отбора (второй индекс – единица) или рассеяние между образцами на второй стадии (второй индекс – двойка). Литерами C_{21} и C_{22} обозначены расходы соответственно на группу и отдельный элемент. Первый индекс при S, v и C, а также при n указывает, что отбор двухстадийный.

При многостадийном отборе изменяется статистический анализ результатов испытаний. В случае двухстадийного отбора вычисляют выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n_2 r}\sum_{i=1}^{n_2}\sum_{j=1}^{r} x_{ij}, \qquad (85)$$

где i – номер группы (доски); j – номер элемента (образца).

Дисперсия выборочного среднего

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n_2(n_2-1)}\sum_{i=1}^{n_2}(\bar{x}_i - \bar{x})^2, \qquad (86)$$

где $\bar{x}_i = \frac{1}{r}\sum_{j=1}^{r} x_{ij}$ – среднее i-й группы.

Используя указанные параметры, по формуле (81) находят доверительный интервал генерального среднего.

Пример. Для определения плотности древесины партии досок отобрали случайным образом четыре доски $(n_2 = 4)$ и из каждой изготовили по три образца $(r = 3)$.

Результаты испытаний, кг/м^3: x_{1j}=580, 580, 508; x_{2j}=455, 447, 433; x_{3j}=471, 492, 460; x_{4j}=427, 400, 389. Сумма всех значений плотности $\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{3}x_{ij}=5642$. Тогда выборочное среднее согласно (85) равно $\bar{x}=5642/(4\cdot3)=470{,}2$ кг/м^3. Сумма квадратов отклонений средних значений $\bar{x}_i$ плотности досок от выборочного среднего $\bar{x}$ равна $\sum_{i=1}^{4}(\bar{x}_i-\bar{x})^2=12230{,}55$. Отсюда согласно (86) дисперсия выборочного среднего равна $S_{\bar{x}}^2=12230{,}55/[(4-1)4]=1019{,}2$, а среднее квадратическое отклонение $S_{\bar{x}}$= 31,9 кг/м^3. Если же обработать приведенные выше результаты испытаний, используя формулы (74), (75), (79), то искомая характеристика оказывается значительно больше $S_{\bar{x}}$= 61,5 кг/м^3.

§ 21. Прочность древесины при сжатии

Сжатие вдоль волокон. Показатели этого основного свойства древесины определяются при испытании образцов в виде прямоугольной призмы (рис. 47,а). Основание призмы соответствует базисному сечению (20×20 мм), а высота – 30 мм. Фактические поперечные размеры *a* и *b* определяют с погрешностью 0,1 мм на уровне половины высоты образца. Испытания проводят с помощью приспособления (рис. 47,б).

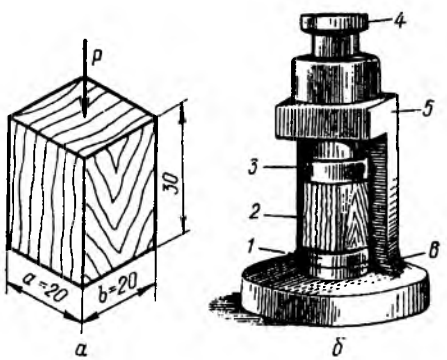


Рис. 47. Испытание древесины на сжатие вдоль волокон:
а – образец; *б* – приспособление: *1*, *6* – съемная шаровая опора; *2* – образец; *3* – пуансон; *4* – шаровая опора; *5* – корпус

Образец нагружают равномерно с постоянной скоростью роста нагрузки или перемещения активного захвата машины. Скорость должна быть такой, чтобы образец разрушился через 0,5 –1,5 мин с момента начала нагружения. Разрушение образца устанавливают по началу возврата стрелки силоизмерителя, контрольная стрелка указывает по шкале максимальную нагрузку P_{max}, Н. Предел прочности $\sigma_{ж}$, МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma_w = \frac{P_{max}}{a \cdot b}. \qquad (87)$$

Вычисление производят с округлением до 0,5 МПа.

Влажность древесины в момент испытаний определяют высушиванием разрушенных образцов. Минимальное количество проб на влажность вычисляют по формуле (82). Затем по формуле (69) пересчитывают полученные для каждого испытанного образца значения пределов прочности к влажности 12 %. Поправочный коэффициент α для всех пород принимают равным 0,04. Данные, полученные для всех испытанных образцов, подвергают статистической обработке, используя формулы (74) – (81).

Пределы прочности древесины при сжатии вдоль волокон для основных пород приведены в табл. 30*.

Как видим, предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон сильно зависит от влажности. Прочность комнатно-сухой древесины в 2–2,5 раза выше чем свежесрубленной.

В среднем для всех изученных пород при влажности 12 % предел прочности на сжатие вдоль волокон примерно равен 50 МПа. Предел пропорциональности при сжатии вдоль волокон для некоторых наших пород (лиственница, сосна, пихта, дуб, ясень) составляет в среднем 0,7 предела прочности.

30. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон

Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %		Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	62	25	Дуб	57	31
Сосна	46	21	Бук	53	27
Ель	45	19	Орех грецкий	55	23
Кедр	40	16	Береза	54	26
Пихта сибирская	40	17	Вяз	47	25
Акация белая	73	41	Липа	46	24
Граб	61	36	Ольха	45	23
Клен	59	28	Осина	43	19
Ясень	56	32	Тополь	40	17
Груша	58	26			

* Характеристики механических свойств в этой главе даются в соответствии с РТМ [27] и таблицами ССД «Древесина. Показатели физико-механических свойств малых образцов без пороков». В данной и нижеследующих таблицах (если нет особых указаний) приведены округленные средние показатели РТМ, пересчитанные на влажность 12 %, а также на влажность 30 % и более. В РТМ и таблицах ССД имеются более подробные данные для большинства наших пород из разных районов произрастания.

Можно выделить типичные виды разрушения при сжатии вдоль волокон (рис. 48). У пород с легко деформируемой древесиной, а также у всех пород при высокой влажности древесины наблюдается смятие торцев образца (рис. 48, а). У пород с древесиной повышенной жесткости при разрушении появляется косая складка, обычно расположенная под углом 60 – 70 ° на тангенциальной поверхности образца (рис. 48, б). Довольно часто можно обнаружить у разрушенного образца две встречные косые складки, образующие клиновидный участок, под которым видна трещина от продольного раскола (рис. 48, в). Иногда наблюдается расслоение образца и другие виды разрушения. Все это свидетельствует о существенном влиянии на показатели прочности при сжатии вдоль волокон особенностей строения и анизотропии механических свойств древесины.

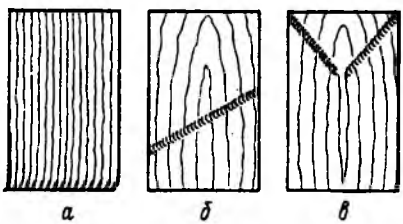


Рис. 48. Типичные виды разрушения образца при сжатии вдоль волокон: *а* – смятие торцов; *б* – косая складка; *в* – встречные косые складки с продольным расколом

Исследования В.Е. Москалевой, Ю.М Иванова и других показали, что изменения в микроскопическом строении происходят только в зоне разрушения, а в остальном объеме образца древесина остается неповрежденной. Сложное напряженное состояние возникает в приторцовых зонах образца из-за стеснения, вследствие трения, поперечных деформаций. Наблюдается также и стеснение угловых деформаций.

Для уменьшения влияния приторцового эффекта предпринимались попытки увеличить высоту образца. Однако это приводило к потере устойчивости образца при испытаниях в конечной стадии нагружения. Исследовались возможности изменения формы образца путем увеличения сечения приторцовой зоны [62]. При испытаниях сосновых образцов общей высотой 35 мм с головками 26×26×4 мм и плавным переходом к средней части (сечением 20×20 мм), в которой действуют достаточно равномерно распределенные основные напряжения σ_a, пределы прочности оказались в среднем на 8,5 % выше, чем при испытаниях стандартных образцов. Как видим, различие в показателях не слишком значительно. Образцы усложненной формы, учитывая трудности их изготовления, целесообразно применять лишь для исследовательских целей.

Следует отметить, что предел прочности при сжатии вдоль волокон наименее изменчив по сравнению с показателями других свойств древесины.

В конструкциях и изделиях древесина очень часто работает на сжатие вдоль волокон, что объясняется ее высокой прочностью при данном виде действия усилий и удобством их приложения.

Сжатие поперек волокон. Возможны две типичные диаграммы сжатия (рис. 49), отражающие связь между напряжениями и деформациями [56].

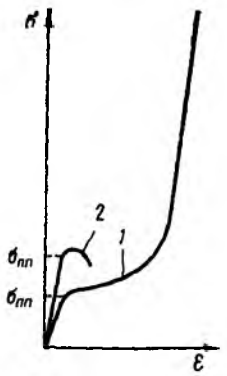


Рис. 49. Диаграммы сжатия древесины поперек волокон: *1* – трехфазная; *2* – однофазная

Трехфазная диаграмма наиболее четко выражена при сжатии в радиальном направлении древесины хвойных пород. Начальный, почти прямолинейный, участок (первая фаза) этой диаграммы отражает сопротивление слабой ранней древесины годичных слоев. После потери устойчивости анатомических элементов происходит процесс их смятия, не требующий больших дополнительных усилий, и на диаграмме появляется второй, слегка наклоненный к оси абсцисс, участок (вторая фаза). Постепенно начинают оказывать сопротивление более прочные и жесткие анатомические элементы поздних зон, что находит отражение в участке, расположенном под большим углом к оси абсцисс (третья фаза). Последняя фаза деформирования, несмотря на большие нагрузки, приводит лишь к уплотнению древесины и не завершается разрушением образца.

У лиственных пород при сжатии как в радиальном, так и в тангенциальном направлении происходит смятие анатомических элементов и наблюдается трехфазная диаграмма, хотя и менее явно выраженная. Однофазная диаграмма характерна для древесины хвойных пород при сжатии в тангенциальном направлении. В этом случае усилия воспринимают одновременно ранние и поздние зоны годичных слоев. Однако наибольшие напряжения возникают в жестких поздних зонах. Эти более прочные зоны и определяют сопротивление разрушению всего образца. Нагружение приводит к явному разрушению образцов; они выпучиваются в сторону выпуклости годичных слоев. Однофазная диаграмма обнаруживается при радиальном сжатии сухой древесины дуба, что связано с наличием широких сердцевинных лучей. По наблюдениям О.С. Мыльниковой (ЛТА) разру-

шение имеет вид, схематично показанный при сжатии вдоль волокон на рис. 48, в.

Поскольку в большинстве случаев при действии сжимающих усилий поперек волокон не удается установить максимальную нагрузку, приводящую к окончательному разрушению образца, ограничиваются определением предела пропорциональности, который принимают за условный предел прочности.

Различают два вида испытаний – на сжатие и местное смятие поперек волокон. При первом виде испытаний нагрузка прикладывается равномерно по всей поверхности образца, при втором – по всей ширине, но лишь на части длины. Возможен и третий вид испытаний, при котором нагрузка прикладывается на площадку, ограниченную частью ширины и длины образца.

Для испытаний используют образцы, формы и размеры которых указаны на рис. 50, а, б. Испытания при действии усилий в радиальном и тангенциальном направлениях проводят на отдельных образцах. У образца для испытания на сжатие измеряется длина l и на половине длины ширина a с точностью до 0,1 мм. У образца для испытания на местное смятие измеряется с той же точностью только его ширина a.

Для испытаний используют приспособление, изображенное на рис. 50, в, которое имеет два съемных пуансона. Плоский пуансон (без выступа) применяют при испытании на сжатие; пуансон с выступом длиной 20 мм и закругленными ребрами (радиус 2 мм) – для испытаний на смятие.

Непрерывно нагружая образец через равные интервалы нагрузки P не менее 10 раз, определяют укорочение образца Δl с погрешностью не более 0,01 мм и строят график зависимости $P = f(\Delta l)$. Ординату точки, в которой тангенс угла между касательной к графику и осью P на 50 % больше, чем на линейном участке графика, принимают за нагрузку $P_{y.n}$, соответствующую условному пределу прочности. Если испытательная машина снабжена устройством, обеспечивающим запись нагрузки в масштабе не более 50 Н/мм и укорочения Δl в масштабе не более 0,01 мм/мм, то величину $P_{y.n}$ можно определить по диаграмме сжатия, вычерченной машиной. Во всех случаях продолжительность равномерного нагружения до достижения условного предела прочности должна быть 1–2 мин.

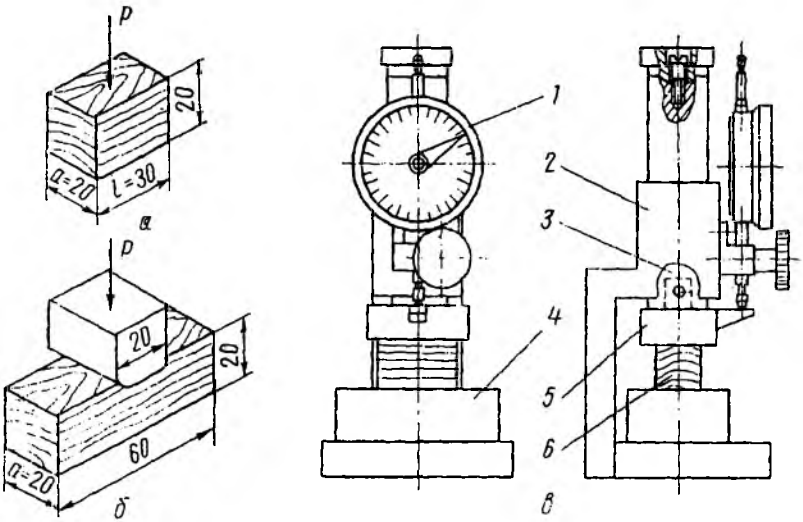


Рис. 50. Испытания древесины на сжатие и местное смятие поперек волокон: *а* – образец для испытания на сжатие; *б* – образец и схема испытаний на смятие; *в* – приспособление для испытаний: *1* – индикатор; *2* – корпус; *3* – шток; *4* – подставка; *5* – съемный пуансон; *6* – образец

Условный предел прочности вычисляют с округлением до 0,1 МПа при сжатии поперек волокон по формуле

$$\sigma_{w.y} = \frac{P_{y.n}}{al}, \qquad (88)$$

где $P_{y.n}$ – нагрузка, Н;
a – ширина образца, мм;
l – длина образца, мм,

а при местном смятии поперек волокон по формуле:

$$\sigma_{w.y} = \frac{P_{y.n}}{18a}, \qquad (89)$$

где 18 – средняя ширина выступа пуансона, мм

Прочность при сжатии и смятии поперек волокон исследована слабо. Некоторые средние данные, приведенные в табл. 31, следует рассматривать как ориентировочные.

Определение влажности древесины в момент испытаний, приведение значений условного предела прочности к нормализованной влажности (поправочный коэффициент $\alpha = 0{,}035$) и их статистическую обработку проводят так же, как и при испытаниях на сжатие вдоль волокон.

31. Условные пределы прочности при сжатии и местном смятии поперек волокон

Порода	Условный предел прочности, МПа							
	Сжатие поперек волокон при влажности, %				Местное смятие поперек волокон при влажности, %			
	12	30 и более	12	30 и более	12	30 и более	12	30 и более
	1		2		1		2	
Лиственница	4,3	2,6	6,1	2,4	6,1	3,6	9,3	3,8
Сосна	5,1	3,0	7,5	3,0	–	–	13,6	5,6
Пихта	2,1	1,3	2,4	1,0	2,5	1,5	3,5	1,4
Граб	6,5	3,9	6,0	3,6	13,7	8,0	11,3	6,9
Ясень	–	–	–	–	8,3	5,1	10,6	6,5
Дуб	–	–	–	–	9,1	5,5	5,3	3,2
Бук	6,1	3,6	6,3	3,8	11,4	6,9	10,8	6,7
Вяз	5,7	3,4	4,6	2,8	11,0	6,7	11,0	6,7
Липа	5,5	3,3	5,1	3,0	9,6	5,9	9,8	6,0
Ольха	6,7	4,1	3,7	2,3	8,0	4,9	5,3	3,2
Осина	5,4	3,2	3,5	2,1	6,3	3,8	4,8	2,8

Примечание. Цифра 1 обозначает радиальное направление, цифра 2 – тангенциальное.

Как видим, условный предел прочности при сжатии поперек волокон для всех пород в среднем примерно в 10 раз меньше предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Предел прочности при местном смятии из-за дополнительного сопротивления изгибу волокон оказывается выше, чем при простом сжатии поперек волокон. Однако эта разница не столь большая, как можно заключить из данных табл. 31, в которой представлены ориентировочные и поэтому трудно сопоставимые для разных видов испытаний данные. В работе [56] отмечается, что это увеличение составляет 20 – 25 %. При испытании древесины с помощью штампа, передающего нагрузку на часть длины и ширины образца, значения условного предела прочности оказываются еще несколько выше из-за сопротивления древесины скалыванию поперек волокон у ребер штампа, расположенных вдоль волокон.

Следует заметить, что пока стандартизованы методы только для двух видов испытаний. Вначале был разработан стандартный метод испытания на местное смятие (с целью определения по существу контактной прочности древесины), а позднее – на сжатие поперек волокон. Форма, размеры и ориентация волокон в образце (рис. 50, а) такова, что его можно изготавливать из той же возрастной зоны ствола, что и образец на местное смятие (рис. 50, б), обеспечивая лучшие условия для сравнения показателей. Однако на результаты испытания образца по схеме рис. 50, а оказывает влияние стеснение его деформаций на поверхностях, контактирующих с пуан-

соном и подставкой. Для исследовательских целей можно использовать образец с усиленными торцовыми частями, что повышает предел прочности, как показано в работе [63]: для сосны в радиальном направлении на 13 %, а в тангенциальном – на 42 %.

Все три возможных случая действия сжимающих нагрузок встречаются в практике. Например, сжатие поперек волокон происходит при изготовлении прессованной древесины, местное смятие наблюдается в шпалах под рельсами, а третий вид нагружения – при использовании древесины в качестве подкладок под стойки и т. д.

§ 22. Прочность древесины при растяжении

Растяжение вдоль волокон. Для определения прочности применяют образцы довольно сложной формы с массивными головками, которые зажимают в клиновидных захватах машины, и тонкой рабочей частью. Форма, размеры образца и схема его крепления показаны на рис. 51. При такой форме образца предупреждается возможность его разрушения в местах крепления от сжатия поперек волокон и скалывании вдоль волокон. Переход от головок к рабочей части образца делают плавным во избежание концентрации напряжений. Заготовки для образцов получают путем выкалывания (а не выпиливания), чтобы не допустить перерезания волокон. Рабочая часть образца должна захватывать как можно больше годичных слоев, поэтому ее широкая грань совпадает с радиальным направлением. Допускается изготовлять образцы с наклеенными головками.

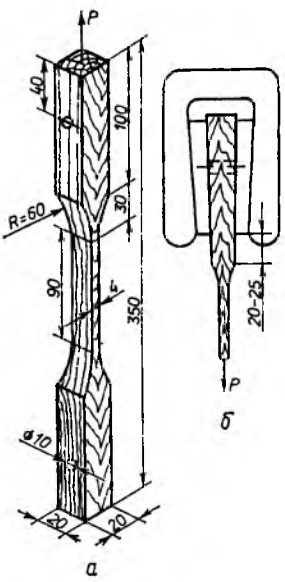


Рис. 51. Испытание древесины на растяжение вдоль волокон:
а – образец; *б* – схема закрепления образца в захватах испытательной машины

Перед испытанием измеряют толщину *а* и ширину *b* рабочей части образцов с погрешностью до 0,1 мм и в отверстия головок вставляют стальные пробки диаметром 9,9 мм. Длина пробок на 3 или 2 мм (соответственно для древесины мягких и твердых пород) меньше толщины головки. Пробки предотвращают чрезмерное смятие головок во время испытаний.

Образец нагружают с такой скоростью, чтобы разрушение его наступило через 1,5 – 2 минуты. Определяют максимальную нагрузку и вычис-

ляют предел прочности по формуле (87), округляя результаты до 1 МПа. В качестве проб на влажность используют рабочие части образцов. Порядок дальнейших операций и расчетов соответствует рассмотренному в предыдущем параграфе, но поправочный коэффициент на влажность $\alpha = 0{,}01$.

Предел прочности древесины на растяжение вдоль волокон сравнительно слабо зависит от влажности древесины, но резко падает при малейшем отклонении волокон от направления продольной оси образца. Представление о прочности древесины некоторых пород при данном виде действия усилий дает табл. 32.

32. Прочность древесины при растяжении вдоль волокон

Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %		Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	124	95	Ясень	140	107
Сосна	109	78	Граб	129	96
Ель	101	77	Осина	121	93
Кедр	89	68	Бук	124	93
Пихта сибирская	66	51	Липа	117	89
Акация белая	171	107	Ольха	97	74
Береза	137	102	Тополь	88	67

Предел пропорциональности при растяжении вдоль волокон составляет от величины предела прочности 0,82 для древесины хвойных пород (лиственница, сосна, пихта) и 0,7 для лиственных кольцесосудистых (дуб, ясень) [56].

В среднем для всех пород предел прочности на растяжение вдоль волокон 130 МПа. Несмотря на столь высокую прочность, древесина в конструкциях и изделиях довольно редко работает на растяжение вдоль волокон из-за трудности предотвращения разрушения деталей в местах закрепления (под действием сжимающих и скалывающих нагрузок).

Растяжение поперек волокон. По ныне действующему стандарту для испытаний рекомендуется образец, форма и размеры которого показаны на рис. 52. Этот образец по форме напоминает образец для испытаний на растяжение вдоль волокон. Однако в данном случае образцы крепятся в винтовых захватах с плоской стороны, чтобы сжимающие усилия были направлены вдоль волокон.

Затруднения, возникающие при изготовлении образца сравнительно большой (для плоскости поперек волокон) длины, могут быть уменьшены путем использования клееных образцов. В клееных образцах центральный участок из исследуемой древесины должен иметь длину не менее 90 мм и включать в себя плоскую рабочую зону, криволинейные переходы и небольшую часть длины головок.

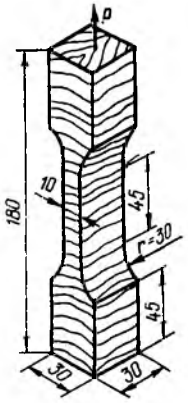


Рис. 52. Образец для испытания древесины на растяжение поперек волокон

Для определения предела прочности при растяжении поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях образец изготовляют таким образом, чтобы годичные слои на плоской его стороне были направлены соответственно поперек (как показано на рис. 52) или вдоль длины его рабочей части.

Перед испытаниями измеряют размеры сечения рабочей части образца. Скорость нагружения должна быть такой, чтобы образец разрушился через 1,5–2 мин. Для образцов, разрушившихся в рабочей части, находят максимальную нагрузку P_{max}, вычисляют предел прочности по формуле (87), округляя результат до 0,01 МПа. Далее проводят такие же операции и расчеты, как при испытаниях на растяжение вдоль волокон; однако поправочные коэффициенты на влажность равны 0,01 и 0,025 соответственно при радиальном и тангенциальном растяжении.

Исчерпывающих данных о сравнительной прочности древесины на растяжение поперек волокон для разных пород, установленных при использовании стандартной формы образца, еще нет. В табл. 33 представлены данные [56], полученные по единообразной методике, но с использованием образцов, форма которых соответствовала ранее действовавшему стандарту. Эти образцы имели трапециевидные головки и очень короткую рабочую часть. Вследствие концентрации напряжений значения пределов прочности оказывались заниженными. Здесь приведены показатели, пересчитанные к 12 % влажности, и полученные в опытах данные для древесины трех пород при влажности 30%.

33. Прочность древесины при растяжении поперек волокон

Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %				Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %			
	12	>30	12	>30		12	>30	12	>30
	1		2			1		2	
Лиственница	5,6	–	5,2	–	Граб	13,3	–	8,4	–
Сосна	5,4	3,9	3,5	2,4	Клен	13,3	–	9,2	–
Ель	5,0	–	3,2	–	Бук	12,5	–	8,5	–
Кедр	4,2	–	2,8	–	Береза	11,1	5,7	6,5	3,5
Пихта	4,0	–	2,9	–	Липа	8,3	–	5,0	–
Ясень	9,0	–	4,2	–	Ольха	7,2	–	5,9	–
Дуб	8,0	7,4	6,5	6,1	Осина	7,1	–	4,6	–

Примечание. Цифра 1 обозначает радиальное направление, а цифра 2 – тангенциальное.

Из приведенных данных следует, что прочность древесины в радиальном направлении больше, чем в тангенциальном, у хвойных пород на 10–50 %, у лиственных – на 20–70 %. Наибольшую прочность имеют твердые рассеянно-сосудистые лиственные породы, затем идут кольцесосудистые лиственные и далее мягкие рассеянно-сосудистые лиственные. Хвойные породы по сравнению с лиственными имеют значительно меньшую прочность при растяжении как в радиальном, так и в тангенциальном направлении.

В среднем прочность при растяжении поперек волокон для всех изученных пород составляет примерно 1/20 прочности при растяжении вдоль волокон.

При конструировании изделий из древесины стараются не допускать действия растягивающих нагрузок, направленных поперек волокон. Показатели прочности древесины при данном виде усилий необходимы для разработки режимов резания и сушки древесины. Именно эти показатели характеризуют предельную величину сушильных напряжений, достижение которой вызывает растрескивание материала. При расчетах безопасных режимов сушки древесины учитывают зависимость пределов прочности от влажности и температуры, а также длительности приложения нагрузки (скорости нагружения).

§ 23. Прочность древесины при статическом изгибе

К числу наиболее распространенных и сравнительно легко выполняемых видов механических испытаний древесины относится ее испытание на поперечный изгиб. Нагружение образца проводят в статическом режиме, постепенно увеличивая изгибающие усилия, в отличие от ударного изгиба (см. ниже) с мгновенным приложением полной нагрузки. Прочность при статическом изгибе – одна из важнейших механических характеристик древесины.

Для испытания применяют образцы в форме бруска размерами 20×20×300 мм. После измерения посредине длины образца ширины b – в радиальном и высоты h – в тангенциальном направлении с погрешностью до 0,1 мм его располагают на двух опорах. Пролет l, т.е. расстояние между центрами опор, равен 240 мм. Нагружают образец в одной точке посредине пролета (рис. 53). Опоры и нажимные ножи имеют закругления радиусом 30 мм. Скорость непрерывного нагружения должна быть такой, чтобы образец разрушился через 1 – 2 мин. Определив максимальную нагрузку P_{max}, Н, вычисляют предел прочности, МПа, по формуле

$$\sigma_W = \frac{3P_{max}l}{2bh^2}. \qquad (90)$$

Результаты вычисления округляют до 1 МПа.

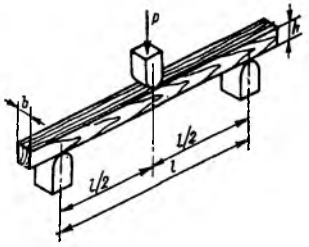


Рис. 53. Схема испытания древесины на статический изгиб

Фактическую влажность определяют по пробам, взятым вблизи излома у необходимого количества образцов (см. § 20) и пересчитывают предел прочности к влажности 12 % по формуле (69), используя поправочный коэффициент α, равный для всех пород 0,04. В образце при нагружении возникают сжимающие напряжения в верхней, согласно схеме на рис. 53), части образца и растягивающие в нижней. Поскольку прочность на сжатие вдоль волокон значительно меньше прочности на растяжение, разрушение начинается с образования редко видимых складок в сжатой зоне образца. Окончательное разрушение происходит в растянутой зоне в виде разрыва или отслоения крайних волокон и полного излома образца. При низкой прочности образца получается почти гладкий излом (рис. 54), а при высокой – защепистый (особенно в растянутой зоне).

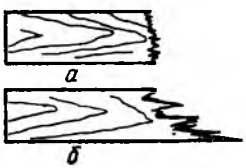


Рис. 54. Вид излома образца при изгибе:

а – гладкий; *б* – защепистый

Данные о пределе прочности при статическом изгибе для древесины некоторых наших пород представлены в табл. 34.

34. Прочность древесины при статическом изгибе

Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %		Порода	Предел прочности, МПа, при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	109	61	Орех грецкий	108	60
Сосна	85	49	Береза	110	65
Ель	79	43	Бук	104	63
Кедр	69	36	Дуб	103	66
Пихта сибирская	68	40	Вяз	92	58
Акация белая	148	96	Липа	86	53
Граб	128	74	Ольха	79	48
Ясень	118	73	Осина	77	45
Клен	115	66	Тополь	68	40
Груша	106	62			

Предел прочности при статическом изгибе в среднем можно принять равным 100 МПа. Предел пропорциональности при статическом изгибе составляет примерно 0,6–0,7 от предела прочности.

При испытаниях, проводимых по стандартной методике, образец располагается на опорах так, чтобы усилия были направлены вдоль годичных слоев (тангенциальный изгиб). Различие между прочностью при радиальном и тангенциальном изгибах обнаруживается только для хвойных пород: предел прочности при тангенциальном изгибе на 10–12 % выше, чем при радиальном; для лиственных пород прочность при изгибе в обоих направлениях практически можно считать одинаковой [56].

Более сложны в исполнении методы испытаний, предусматривающие такую схему нагружения, которая обеспечивает чистый изгиб, т. е. отсутствие касательных напряжений по части или всей длине пролета. Схема нагружения в двух точках (рис. 55, а) была принята в ранее действовавших ГОСТах. Однако в соответствии с международными стандартами она заменена на более простую схему одноточечного нагружения (см. рис. 53), которая дает практически одинаковые результаты. Значительно сложнее осуществлять нагружение образца в опорных сечениях сосредоточенными моментами, т. е. по схеме рис. 55, б. Такая схема, применяемая для испытания пластмасс, гнутоклееной древесины, была использована [62] для исследования механических характеристик натуральной древесины. По сравнению с двухточечной схемой при одинаковых пролетах l = 240 мм предел прочности для сосны оказался выше на 2 %. Однако при сокращении длины пролета до 130 мм предел прочности увеличился на 12,6 %.

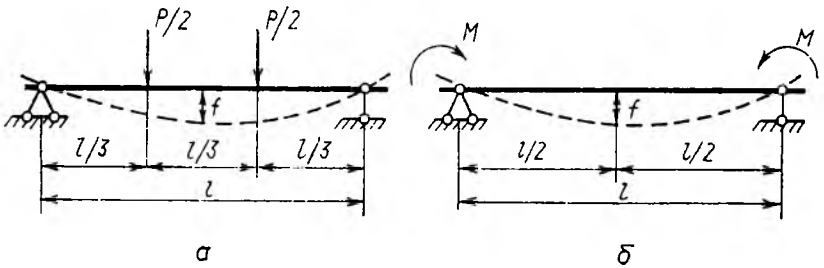


Рис. 55. Схемы испытаний на изгиб образца:
а – при нагружении в двух точках; *б* – при нагружении сосредоточенными моментами

Кроме обычного поперечного изгиба, когда волокна древесины направлены вдоль оси бруска (см. рис. 53), могут быть случаи, когда волокна направлены поперек оси бруска (рис. 56). Опыты, проведенные в МЛТИ автором и А.Л. Михайличенко, показывают, что в двух последних случаях предел прочности составляет для древесины ели и сосны 4–5 %, а для бука – около 20 % предела прочности при обычном изгибе. Разницы в пределах прочности образцов, расположенных по отношению к действующим усилиям по схеме а и б рис. 56, не было установлено.

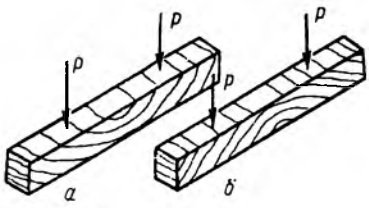


Рис. 56. Схема действия усилий при изгибе образцов с поперечным относительно оси направлением волокон

Вследствие высокой прочности при действии изгибающих нагрузок и удобства их приложения древесина очень часто работает в конструкциях и изделиях на изгиб (балки, лаги, детали машин, мебели, тары и т. п.).

§ 24. Прочность древесины при сдвиге

Установить предельные касательные напряжения древесины в условиях чистого сдвига довольно сложно. Поэтому для инженерных расчетов получают данные путем более простых испытаний на сдвиг. К образцу прикладывают две равные и противоположно направленные силы, вызывающие разрушение в параллельной им плоскости. Различают три вида испытаний на сдвиг: скалывание вдоль волокон, скалывание поперек волокон и перерезание древесины поперек волокон.

Схемы действия сил при этих испытаниях, а также плоскости разрушения, которые задаются принудительно, показаны на рис. 57. Каждый вид испытаний на сдвиг может быть проведен не только в радиальном, как показано на схемах, но и в тангенциальном направлении.

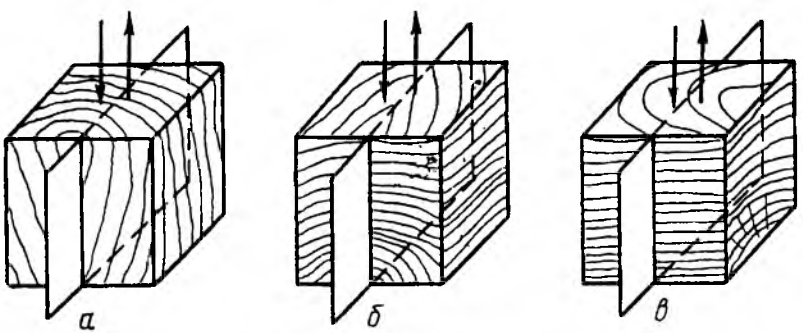


Рис. 57. Случаи сдвига древесины:
а – скалывание вдоль волокон; *б* – скалывание поперек волокон; *в* – перерезание древесины поперек волокон

Для испытания древесины на скалывание вдоль волокон разными исследователями у нас и за рубежом было предложено около 30 типов образцов. Как показали сравнительные исследования акад. Ф.П. Белянкина, условию разрушения преимущественно от касательных напряже-

ний лучше всех отвечает образец, предложенный Л.М. Перелыгиным и рекомендуемый ныне действующим стандартом.

Форма и размеры образца, применяемого для этого вида испытаний, показана на рис. 58, а. Здесь изображен образец для испытания на скалывание вдоль волокон в тангенциальной плоскости; такой же формы образец, но с другим расположением годичных слоев, применяется для скалывания в радиальной плоскости. После измерения фактической толщины образца b и длины ожидаемой площадки скалывания l с погрешностью не более 0,1 мм его помещают в приспособление (рис. 59).

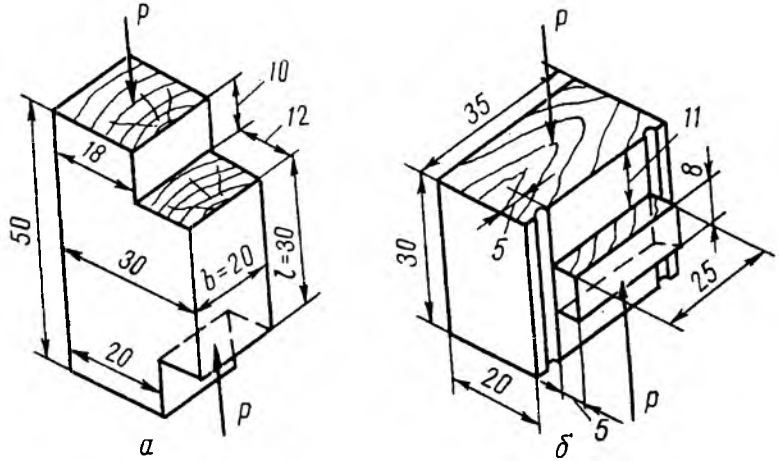


Рис. 58. Образцы для испытаний древесины на скалывание:
а – вдоль волокон; *б* – поперек волокон

Образец 6 располагают таким образом, чтобы его длинная часть плотно прилегала к подвижной планке 4. При этом узкий выступ (шириной 18 мм) образца должен находиться вверху. Разница в ширине выступов необходима для исключения погрешностей вследствие возможного наклона волокон. Опору 7 винтом 8 перемещают настолько, чтобы она плотно прилегала к вертикальной плоскости образца в этом месте и на нее опирался нижний конец короткой части образца.

При испытаниях образец нагружают через нажимную призму 5 с шаровой опорой. Для уменьшения влияния трения, согласно ныне действующему стандарту, между вертикальными плоскостями образца и корпуса 1 приспособления предусмотрена подвижная планка 4 на роликовых опорах 3.

Продолжительность нагружения должна быть 0,5 – 1,5 мин. Определив максимальную нагрузку P_{max}, Н, вычисляют предел прочности с округлением до 0,1 МПа по формуле

$$\tau_w = \frac{P_{max}}{bl}. \qquad (91)$$

Как и при других видах испытаний определяют влажность образцов (используя в качестве пробы большую часть разрушенного образца); пересчитывают пределы прочности к нормализованной влажности, применяя поправочный коэффициент $\alpha = 0{,}03$ для всех пород при скалывании как в радиальной, так и в тангенциальной плоскости.

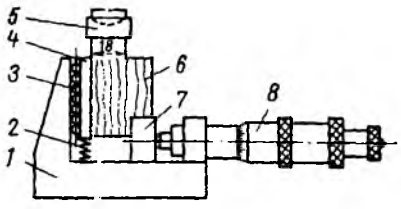


Рис. 59. Приспособление для испытания на скалывание древесины вдоль волокон:
1 – корпус; *2* – пружина; *3* – ролики; *4* – подвижная планка; *5* – нажимная призма; *6* – образец; *7* – подвижная опора; *8* – прижимное устройство

В табл. 35 приведены данные о прочности древесины при скалывании вдоль волокон. Эти данные, полученные путем испытания древесины в приспособлениях старого типа (без подвижной планки) завышены за счет влияния трения примерно на 15 %.

35. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон

Порода	Предел прочности, МПа, при скалывании в плоскости				Порода	Предел прочности, МПа, при скалывании в плоскости			
	радиальной при влажности, %		тангенциальной при влажности, %			радиальной при влажности, %		тангенциальной при влажности, %	
	12	30 и более	12	30 и более		12	30 и более	12	30 и более
Лиственница	9,8	6,2	9,1	5,7	Орех грецкий	10,7	5,8	11,4	6,0
Сосна	7,4	4,2	7,2	4,4	Дуб	9,9	7,4	11,8	8,8
Ель	6,8	4,0	6,7	4,3	Береза	9,0	5,8	10,9	7,0
Кедр	6,4	3,8	6,4	4,0	Вяз	8,9	6,4	9,9	7,2
Пихта сибирская	5,9	3,7	5,7	3,6	Груша	8,6	5,5	13,3	7,9
Граб	14,7	8,5	18,5	10,7	Липа	8,4	5,5	8,0	4,9
Ясень	13,4	9,2	13,0	8,6	Ольха	8,0	5,1	9,8	6,2
Клен	12,0	7,7	13,7	8,5	Осина	6,2	3,5	8,4	4,9
Бук	12,1	7,3	14,0	8,7	Тополь	6,0	3,3	7,2	4,1

Прочность древесины при скалывании вдоль волокон у лиственных пород примерно в 1,6 раза выше, чем у хвойных. При тангенциальном скалывании прочность древесины лиственных пород на 10–30 % выше, чем при радиальном; это превышение тем больше, чем лучше развиты в древе-

сине сердцевинные лучи (граб, бук). Для древесины хвойных пород прочность при скалывании в обоих случаях примерно одинакова.

В среднем для всех пород предел прочности при скалывании вдоль волокон составляет примерно 1/5 предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Методы испытания на скалывание и перерезание древесины поперек волокон также стандартизованы.

Для испытания на скалывание поперек волокон должен применяться образец, форма и размеры которого показаны на рис. 58, б. При разрушении образца возможен вырыв волокон, поэтому у обоих концов выступающей части образца предусмотрены ограничительные пропилы глубиной 3 мм. До испытания определяют фактическую площадь скалывания F (основания выступа) как произведение длины выступа (вдоль волокон) и его толщины.

Испытания проводят с помощью приспособления, отличающегося от показанного на рис. 59 только размерами некоторых деталей. Процедура испытаний такая же, как при скалывании вдоль волокон.

Предел прочности τ_w, МПа, вычисляют как отношение максимальной нагрузки P_{max}, Н, к площади скалывания F, мм^2.

Испытания на перерезание древесины поперек волокон проводят на образцах в виде пластинки шириной $b = 20$ мм, толщиной $a = 5$ мм и длиной 50 мм (рис. 60). Нагрузку передают на образец через подвижный нож. Предел прочности вычисляют с округлением до 0,1 МПа по формуле

$$\tau_w = \frac{P_{max}}{2ab}, \qquad (92)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, Н; a и b –размеры поперечного сечения образца, мм

Последующие операции и расчеты при испытаниях на скалывание и перерезание поперек волокон такие же, как и при скалывании вдоль волокон.

Предел прочности при скалывании поперек волокон в 2 раза меньше, а предел прочности при перерезании поперек волокон в 4 раза больше, чем предел прочности при скалывании вдоль волокон [56].

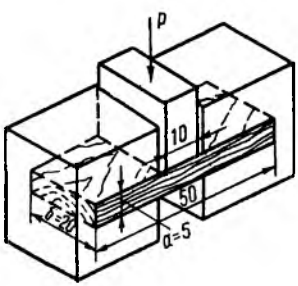


Рис. 60. Схема испытаний древесины на перерезание поперек волокон

Древесина довольно часто работает в деревянных конструкциях на скалыва-

ние вдоль волокон (например, в соединениях стропильных ферм способом лобовых врубок); реже встречаются случаи работы на скалывание поперек волокон (например, в шпонках и шпунтовых соединениях) и перерезание поперек волокон (например, нагели).

Также очень редко работает древесина на кручение (например, валы). При кручении возникают касательные напряжения в плоскости параллельной оси и в плоскости перпендикулярной оси закручиваемого стержня. Если ось стержня совпадает с направлением волокон, разрушение его при кручении происходит от скалывания вдоль волокон. Однако пределы прочности при кручении в 1,5 раза выше, чем при испытаниях на скалывание вдоль волокон.

Если кручению подвергаются образцы, ось которых направлена не вдоль, а поперек волокон, то и разрушение происходит от скалывания поперек волокон; следовательно, пределы прочности на кручение таких образцов будут соответственно ниже.

В расчетах на прочность элементов деревянных конструкций используются, как указывалось, критерии прочности (67), в которые в числе других характеристик древесины входят и пределы прочности при чистом сдвиге. Согласно данным В.В. Тулузакова (МЛТИ) при испытаниях в условиях, близких к чистому сдвигу, а также данным [62], полученным при испытаниях на кручение круглых полых образцов, пределы прочности для древесины сосны оказались выше, чем при обычном скалывании вдоль волокон на 30–40 %.

§ 25. Деформативность древесины при кратковременных нагрузках

В условиях кратковременного воздействия сравнительно небольших нагрузок древесина ведет себя как упругое тело. Как указывалось ранее (§ 18), древесину в малых объемах можно рассматривать как ортотропное тело. Ниже приводятся методы определения и значения показателей жесткости или так называемых упругих постоянных древесины: модулей упругости, коэффициентов поперечной деформации (коэффициентов Пуассона) и модулей сдвига.

Модули упругости древесины.

Испытания на сжатие вдоль и поперек волокон. Модуль упругости, характеризующий меру жесткости, т. е. способности деформироваться, материала, представляет собой коэффициент пропорциональности в законе Гука и при сжатии (или растяжении) стержня может быть найден из соотношения

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \qquad (93)$$

где σ – напряжение;

ε – деформация (относительное укорочение или удлинение).

Модули упругости древесины в трех главных направлениях E_a, E_r и E_t при сжатии определяют при статических испытаниях на образцах в виде призмы, имеющей размеры 20×20×60 мм; причем длинная сторона призмы должна быть соответственно ориентирована вдоль волокон, в радиальном и тангенциальном направлениях – поперек волокон (рис. 61). Методика этих и описываемых далее испытаний рассчитана на использовании для измерения деформаций (укорочений) рычажно-стрелочных тензометров с базой 20 мм. Допускается применение и других тензометров с погрешностью измерения деформаций не более 0,001 мм.

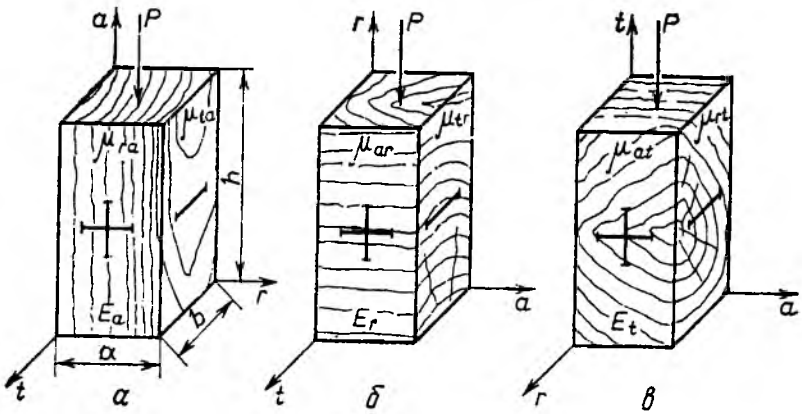


Рис. 61. Образцы для определения модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации при сжатии:
а – вдоль волокон; *б* – поперек волокон в радиальном направлении; *в* – поперек волокон в тангенциальном направлении

До начала испытаний посередине длины образца определяют размеры его поперечного сечения. На двух противоположных длинных гранях образца, в местах, указанных на рис. 61 вертикальными рисками, укрепляют тензометры.

Для выделения из общих деформаций только упругой их части образец подвергают шестикратному нагружению в пределах $1 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^3$ Н при определении E_a и $1 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^2$ Н при определении E_r и E_t. Из трех последних отсчетов по каждому тензометру отдельно для верхнего и нижнего пределов нагрузки вычисляют среднее арифметическое. Разница между ними соответствует укорочению Δl_1 и Δl_2 по каждой из граней на базе тен-

зометра l. Укорочение образца Δl вычисляют как среднее из Δl_1 и Δl_2. Величину модуля упругости вдоль или поперек волокон E_w при данной влажности W вычисляют, округляя результат соответственно до 50 или 5 МПа, по формуле

$$E_w = \frac{Pl}{F\Delta l}, \qquad (94)$$

где P – разница между верхним и нижним пределом нагружения, Н;
F – площадь поперечного сечения образца (нормального к действующей силе), мм

Испытания на растяжение вдоль и поперек волокон. Определение модулей упругости можно проводить перед испытанием на прочность тех же образцов (размеры и форма их показаны на рис. 51 и 51). В случае отдельного определения модуля упругости при растяжении вдоль волокон применяют образцы в виде прямоугольной пластинки размером 20×4×300 мм и захваты со скошенными рифлеными контактными поверхностями. Измеряют площадь поперечного сечения F рабочей части образца и на две противоположные стороны укрепляют тензометры. Пределы нагружения при определении модуля упругости вдоль волокон составляют $5\cdot10^2 - 15\cdot10^2$ Н, а при испытаниях поперек волокон $1\cdot10^2 - 4\cdot10^2$ Н.

В остальном процедура испытаний и порядок вычисления модулей упругости такие же, как и при сжатии.

Испытание на статический изгиб. Для определения модуля упругости используют такие же образцы, как и для испытания на прочность (20×20×300 мм). Однако нагрузку прикладывают через два ножа, находящихся на расстоянии 120 мм друг от друга, т. е. по схеме, изображенной на рис. 55, а.

Перед испытанием на середине длины образца измеряют фактическую ширину b и высоту h. Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба используют соответствующее приспособление с индикатором часового типа, которое укрепляют под нажимными ножами на половине высоты образца.

Образец шестикратно циклически нагружают и при последних четырех циклах в момент достижения нагрузки 300 и 800 Н измеряют прогиб f с погрешностью не более 0,001 мм. Модуль упругости вычисляют с округлением до 100 МПа по формуле

$$E_w = \frac{3Pl^3}{64bh^3f}, \qquad (95)$$

где P – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами измерения, Н; l – расстояние между опорами, равное 240 мм; b и h – ширина и высота образца, мм; f – прогиб, равный разности между средними арифметическими результатами измерения прогиба при верхнем и нижнем пределах нагружения, мм.

Для приведения полученных модулей упругости к нормализованной влажности используют формулу (70) с поправочным коэффициентом α, равным для всех пород при статическом изгибе 0,01, растяжении и сжатии вдоль волокон – 0,012, растяжении поперек волокон радиальном – 0,028, тангенциальном – 0,035, сжатии поперек волокон радиальном – 0,033, тангенциальном – 0,039.

Средние значения модулей упругости для некоторых пород, полученные Н.Л. Леонтьевым и пересчитанные на влажность 12 %, приведены в табл. 36.

36. Модули упругости древесины

Порода	Модуль упругости E, ГПа*					
	при сжатии			при растяжении		
	$E_в$	$E_т$	$E_т$	$E_в$	$E_т$	$E_т$
Сосна	11,9	0,67	0,55	11,9	0,54	0,47
Ель	14,4	0,64	0,40	14,5	0,66	0,46
Дуб	14,2	1,40	1,01	14,2	1,18	0,91
Береза	16,1	0,65	0,50	18,4	0,64	0,46

Приведенные в работе [56] значения модулей упругости при статическом изгибе получены Н.Л. Леонтьевым путем измерения прогиба по всему пролету (а не в зоне чистого изгиба). Из-за влияния поперечной силы на указанный прогиб эти данные, как показали исследования автора и А.Л. Михайличенко, занижены в среднем на 19 %.

Как видно из табл. 36, модуль упругости вдоль волокон примерно в 20–25 раз выше, чем поперек. Модуль упругости в радиальном направлении выше, чем в тангенциальном направлении поперек волокон по средним данным на 20–50 %.

Коэффициенты поперечной деформации. Как известно, при приложении нагрузки к стержню кроме продольной деформации ε появляется поперечная деформация ε'. Коэффициентом поперечной деформации (коэффициентом Пуассона) называется отношение

$$\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}. \qquad (96)$$

У ортотропного тела, как уже отмечалось в § 18, шесть коэффициентов поперечной деформации: μ_{ra}, μ_{ta}, μ_{tr}, μ_{ar}, μ_{rt}, μ_{at}. Каждая пара коэффициентов μ с одинаковым вторым индексом, указывающим направление действия силы, может быть определена на одном образце. Определение μ проводят при испытаниях на сжатие.

Для этой цели, так же как и при определении E, используют образцы в виде призмы с h = 60 мм, но с бóльшим поперечным сечением

* 1ГПа (гигапаскаль) = 10^9 Па = 10^4 кгс/см^2.

($a = b = 30$ мм). На каждом образце по двум тензометрам, укрепленным на противоположных гранях (рис. 61), последовательно измеряют деформацию сначала в направлении действия силы, а затем в перпендикулярных направлениях. Процедура испытаний примерно такая же, как и для определения модуля упругости при сжатии. Однако пределы нагружения при сжатии вдоль волокон составляют $2 \cdot 10^3 - 9 \cdot 10^3$ Н, а при сжатии поперек волокон $2 \cdot 10^2 - 9 \cdot 10^2$ Н. По трем последним показаниям пары тензометров определяют сначала удлинение или укорочение Δl, а затем среднюю деформацию в соответствующем направлении. Коэффициент μ_w вычисляют по формуле (96).

Для пересчета показателей к нормализованной влажности используют формулу (70) с поправочным коэффициентом α, равным для всех пород при сжатии поперек волокон 0,02. Значения коэффициентов поперечной деформации для некоторых наших пород, полученные Н.Л. Леонтьевым при влажности 10–15%, приведены в таблице.

37. Коэффициенты поперечной деформации древесины

Порода	Коэффициенты поперечной деформации					
	μ_{ra}	μ_{ta}	μ_{ar}	μ_{tr}	μ_{at}	μ_{rt}
Сосна	0,490	0,410	0,030	0,790	0,037	0,380
Ель	0,440	0,411	0,017	0,480	0,031	0,250
Дуб	0,430	0,410	0,070	0,830	0,090	0,340
Береза	0,580	0,450	0,043	0,810	0,040	0,490

Приведенные в табл. 37 данные, полученные при измерении деформации рычажными тензометрами, следует рассматривать как ориентировочные. Более надежные данные получаются, если на каждом образце определять не только два коэффициента поперечной деформации (допустим, μ_{ra} и μ_{ta}), но и соответствующий модуль упругости (E_a), используя наклеенные "крестом" тензорезисторы на все четыре грани образца. Определенные таким способом данные [5] для древесины сосны при сжатии приведены в табл. 38. Они в большей мере, чем данные табл. 37, удовлетворяют соотношениям, вытекающим из допущения о существовании упругого потенциала:

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}; \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}; \frac{\mu_{tr}}{E_r} = \frac{\mu_{rt}}{E_t}. \qquad (97)$$

Этим соотношениям лучше соответствуют и данные для древесины березы (табл. 38), полученные А.В. Дорожко (БТИ) при испытаниях на растяжение с использованием тензометров на базе механотронных преобразователей. При испытаниях образцов березы на сжатие было экспериментально установлено существенное влияние приторцового эффекта, приводящего к завышению поперечных деформаций в зонах, распространяющихся на расстоянии 1,5 b от каждого торца.

38. Некоторые характеристики упругости древесины

Порода	Модули упругости, ГПа			Коэффициенты поперечной деформации					
	E_a	E_r	E_t	μ_{ra}	μ_{ta}	μ_{ar}	μ_{tr}	μ_{at}	μ_{rt}
Сосна	11,3	1,74	0,90	0,504	0,463	0,078	0,527	0,045	0,306
Береза	20,37	1,19	0,64	0,341	0,445	0,029	0,566	0,013	0,321

Модули сдвига древесины. Модуль сдвига является коэффициентом пропорциональности между касательными напряжениями τ и угловой деформацией γ. Для ортотропных тел необходимо располагать данными о трех модулях сдвига – G_{ta}, G_{ra}, G_{rt}. Как показал А.Н. Митинский, модули сдвига могут быть определены косвенным путем при испытании на сжатие (или растяжение) образцов, оси которых параллельны одному из главных направлений упругой симметрии и составляют углы 45 ° с другими главными направлениями. При этом модуль сдвига равен:

$$G = \frac{E^{45}}{2(1+\mu^{45})}. \qquad (98)$$

Эта зависимость была положена в основу детально разработанного Н.Л. Леонтьевым метода определения модуля сдвига, который вошел в действующий ГОСТ.

Для испытаний на сжатие используются образцы сечением 30×20 мм и длиной 60 мм. Для определения модулей сдвига G_{ta} и G_{ra} образцы должны быть изготовлены таким образом, чтобы их длинная ось составляла угол 45 ° с направлением волокон, а у образцов для определения G_{rt} – угол 45 ° с направлением годичных слоев (рис. 62).

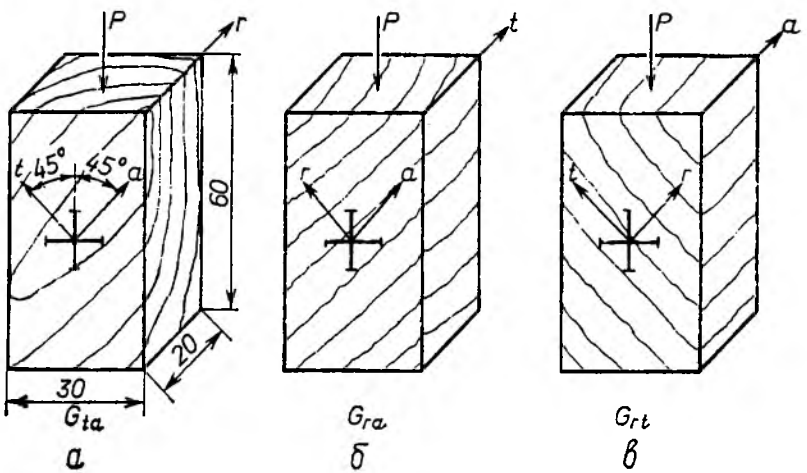


Рис. 62. Образцы и схема расположения тензометров при определении модулей сдвига

Измерение деформаций проводят на двух противоположных поверхностях каждого образца (тангенциальной для определения G_{ta}, радиаль-

ной – для G_{ra} и торцовой – для G_{rt}). Деформации измеряют последовательно сначала в направлении действия силы, а затем в поперечном направлении. Образцы подвергают шестикратному нагружению в пределах 150–600 Н. В остальном процедура испытаний такая же, что и при определении модулей упругости и коэффициентов поперечной деформации. По замеренной продольной (в направлении действия силы) деформации, площади сечения образца и нагрузке вычисляют, округляя до 5 МПа, модуль упругости E^{45} под углом 45° к волокнам или годичным слоям при данной влажности. Вычисление коэффициента μ^{45}, округляя до 0,0005, проводят с учетом знака поперечной деформации ε' ("+" при деформации растяжения и "–" при деформации сжатия). Величину модуля сдвига G_w при данной влажности вычисляют по формуле (98), округляя результат до 5 МПа для G_{ta} и G_{ra} и до 0,5 МПа для G_{rt}. При подстановке в формулу значений μ^{45} необходимо учитывать знак этого коэффициента. Определяют влажность образцов и пересчитывают модуль сдвига к нормализованной влажности по формуле (70), используя поправочный коэффициент $\alpha = 0{,}03$.

В табл. 39 представлены некоторые данные о модулях сдвига, пересчитанные к 12 % влажности.

Кроме описанных выше статических методов определения характеристик упругости древесины в ЦНИИМОДе разработан стандартизованный резонансный метод (ГОСТ 16483.31-74). Установка и процедура испытания были описаны в гл. 4 § 16.

39. Модули сдвига древесины

Порода	Модули сдвига, ГПа		
	G_{ra}	G_{ta}	G_{rt}
Сосна	1,23	0,80	–
Ель	–	–	0,5
Береза	1,54	0,89	0,23
Дуб	1,41	1,00	0,47

Зная резонансную частоту при продольных колебаниях, согласно соотношениям (59, 60) можно определить модуль упругости вдоль волокон, Па, по формуле

$$E = 4l^2 f_{np}^2 \rho, \qquad (99)$$

где l – длина образца, м; f_{np} – резонансная частота, Гц; ρ – плотность, кг/м^3.

По резонансным частотам продольных колебаний основной гармоники и изгибных колебаний второго обертона того же образца в радиальной и тангенциальной плоскостях можно определить модули сдвига G_{ra} и G_{ta}.

Исследования, проведенные в ЦНИИМОДе, показали, что модуль упругости, определенный резонансным методом, не отличается от этого показателя, полученного при испытании образца статическим методом с измерением прогиба в зоне чистого изгиба. Модуль упругости и сдвига древесины можно получить, измеряя скорость распространения ультразвукового импульса [5].

§ 26. Реологические свойства и гигро-термомеханические деформации древесины

Реологические свойства древесины проявляются в ее способности деформироваться под нагрузкой и во времени. Наиболее обстоятельно были изучены особенности деформирования древесины вдоль волокон. Ю.М. Иванов установил, что основным носителем реологических свойств древесины является ее анизотропный компонент, высокоориентированный полимер – целлюлоза. Воздушно-сухая древесина находится в состоянии естественного застеклования. При нагружении ее можно выделить две области деформирования: первая – область обычной упругости, вторая – область вынужденно эластических деформаций. Напряжения, определяющие границу между двумя областями, представляют собой предел вынужденной эластичности древесины. Если напряжения во второй области воздействуют на набухшую древесину, она выходит из состояния естественного застеклования и приобретает высокоэластические свойства. Высокоэластические деформации обратимы и в десятки раз превышают мгновенные упругие деформации натуральной древесины.

Автор [71] провел достаточно широкие исследования деформативности древесины поперек волокон. Типичные закономерности деформирования древесины под постоянной нагрузкой и после ее снятия иллюстрирует рис. 63. Как видим, при разгрузке образца мгновенно возвращается упругая деформация, через некоторое время исчезает эластическая деформация, но даже при длительном выдерживании сохраняются остаточные деформации. Было показано, что для описания обратимых упруго-эластических деформаций применима реологическая модель, изображенная на рис. 46. Путем испытаний образцов при малой скорости нагружения (0,01 МПа/мин) с периодическими разгрузками (для исключения остаточных деформаций) были получены значения мгновенного и длительного модулей упругости, а также времени релаксации древесины основных пород при различных значениях температуры и влажности.

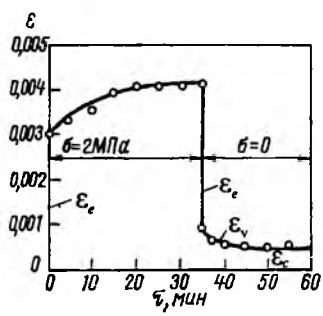


Рис. 63. Деформирование древесины во времени при нагружении и разгрузке (бук, растяжение поперек волокон в радиальном направлении, $t = 60$ °С, $W = 10$ %:

ε_e – упругая деформация; ε_v – эластическая деформация; ε_c – остаточная деформация

Методика испытаний и полученные результаты подробно освещены в учебном пособии [70] и монографии [71]. В качестве примера на рис. 64

представлены данные для березы и бука при 20°С. Как видим, повышение влажности приводит к резкому снижению величины реологических коэффициентов. Еще больше снижаются эти коэффициенты, если кроме того увеличивается температура древесины. Величина реологических показателей древесины практически не зависит от вида испытаний (растяжение или сжатие). В радиальном направлении поперек волокон реологические показатели примерно в 1,5 раза выше чем в тангенциальном.

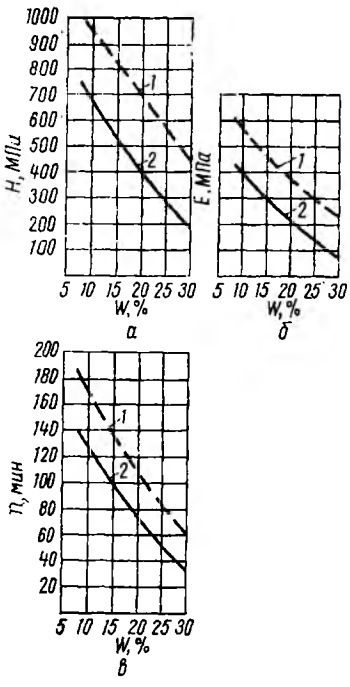


Рис. 64. Зависимости реологических коэффициентов древесины при растяжении в тангенциальном направлении от влажности:
а – мгновенного модуля упругости H; *б* – длительного модуля упругости E; *в* – времени релаксации *n*: *1* – бук; *2* – береза

Полученные в результате реологических испытаний, т. е. при малой скорости нагружения, зависимости между напряжениями и общими (включая и остаточные) деформациями имеют вид, показанный на рис. 65. Аналогичный характер имеют зависимости и для других пород. Крестиками на каждой кривой отмечены максимальные напряжения и деформации, достигнутые в опытах. Кривые экстраполированы до напряжений, соответствующих пределам прочности. При уменьшении скорости нагружения общие деформации (при одном и том же напряжении) увеличиваются в основном за счет возрастания остаточных и, отчасти, эластических деформаций.

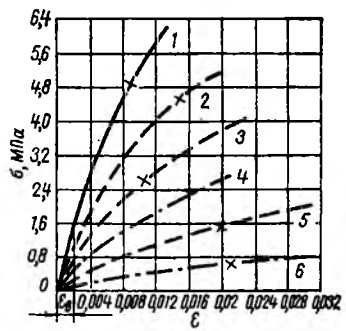


Рис. 65. Зависимости между напряжениями σ и общими деформациями ε при растяжении древесины дуба поперек волокон в тангенциальном направлении (скорость нагружения v = 0,005 – 0,01 МПа/мин:
1 – *t* = 20 °С, *W* = 12 %; *2* – *t* = 60 °С, *W* = 10 %; *3* – *t* = 60 °С, *W* = 15 %; *4* – *t* = 95 °С, *W* = 10 %; *5* – *t* = 60 °С, *W* > $W_{пн}$; 6 – *t* = 95 °С, *W* > $W_{пн}$

Эти экспериментальные диаграммы растяжения удобно аппроксимировать степенной зависимостью вида

$$\sigma = \sigma_B \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_B} \right)^m, \qquad (100)$$

где σ – напряжение; ε – деформация; σ_B и ε_B – постоянные для данной кривой величины, соответствующей некоторой фиксированной точке B; m – коэффициент.

Для дуба согласно рис.65 при ε_B=0,002 σ_B у разных кривых имеет значения 0,09–1,42 МПа, а коэффициент m равен 0,73–0,84.

При m= 1 выражение (100) превращается в зависимость между напряжениями и деформациями линейно-упругого тела, в которой отношение $\frac{\sigma_B}{\varepsilon_B}$ равно модулю упругости.

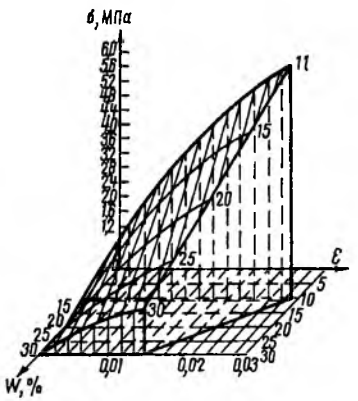


Рис. 66. Зависимости $\sigma - \varepsilon - W$ при растяжении древесины березы в тангенциальном направлении (t = 20°, v = 0,01 МПа/мин)

Наглядное представление о характере зависимости "$\sigma - \varepsilon$" при разной влажности дают пространственные диаграммы, одна из которых показана на рис. 66. Обобщенная зависимость для семейства кривых: "напряжение – общая деформация" при разной влажности, но при постоянной температуре может быть с достаточным приближением выражена уравнением

$$\sigma = \sigma_н \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_н} \right)^m (1 + \gamma \Delta W), \qquad (101)$$

где $\sigma_н$ и $\varepsilon_н$ – напряжение и деформация в фиксированной точке кривой $\sigma = f(\varepsilon)$ при $W_{п.н}$; ΔW – падение влажности т.е. разность между пределом насыщения клеточных стенок $W_{п.н}$ и текущей влажностью W; m и γ – коэффициенты.

Экспериментами было установлено [71], что при снижении влажности закрепленного поперек волокон стержня из древесины образуются очень большие квази-остаточные, замороженные деформации, достигаю-

щие более половины величины стесненной усушки. Позднее было показано, что явление перерождения значительной части упругих деформаций в остаточные наблюдается у нагруженных образцов только при снижении влажности или температуры, вызывающих увеличение жесткости древесины, и сделаны соответствующие обобщения [72]. Обнаруженные закономерности удобно проследить на диаграмме деформирования древесины (рис. 67). Здесь для наглядности исходные криволинейные зависимости «напряжения-деформации» при стабильной влажности заменены прямыми как для линейно-упругого тела. Ломаная линия 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 0 отражает следующую историю развития деформаций: 0 – 1 – сушка древесины от влажности $W_н$ до $W_к$, силовых деформаций нет; 1 –2 – нагружение сухой (при $W_к$) древесины, силовые деформации достигают величины, соответствующей напряжению σ_2; 2 – 3 – увлажнение древесины при $\sigma = \sigma_2 = \text{const}$, деформации увеличиваются из-за снижения жесткости древесины; 3 – 4 – высыхание древесины при $\sigma = \text{const}$, деформации не изменяются, происходит накопление замороженных (остаточных) деформаций; 4 – 5 – разгрузка высушенной древесины, линия разгрузки параллельна линии нагружения 1 – 2 и направлена под углом, соответствующим модулю упругости $E_к$ при конечной влажности; отрезок 1 – 5 характеризует величину замороженных деформаций; 5 – 0 – увлажнение древесины и снятие задержанной деформации (редеформация).

Если высушенный при $\sigma = \text{const}$ образец не разгружая подвергнуть увлажнению, это отразится линией 4 – 3; последующая разгрузка образца (во влажном состоянии) должна привести к снятию деформаций.

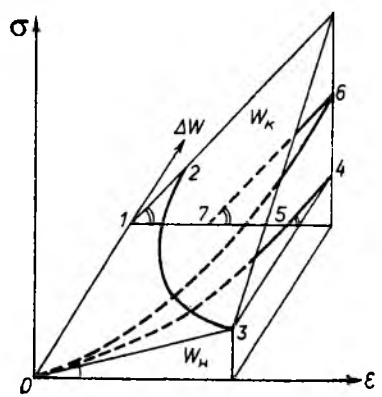


Рис. 67. Диаграмма деформирования при различных условиях нагружения и изменения влажности (схема)

При сушке закрепленного образца от стеснения усушки, равной $\varepsilon = K_\beta \Delta W$, возникают напряжения. Приняв в исходной зависимости (101) $m = 1$ и проведя суммирование приращений напряжений при бесконечно малом падении влажности, получим уравнение

$$\sigma = \frac{\sigma_н}{\varepsilon_н}\varepsilon\left(1 + \frac{1}{2}\gamma\Delta W\right) = K_\beta \Delta W\left(\frac{E_н + E_к}{2}\right), \qquad (102)$$

где $E_н$ и $E_к$ – модули упругости при начальной $W_н$ и конечной $W_к$ влажности; $K_β$ – коэффициент усушки; $\Delta W = W_н - W_к$.

Зависимость, отражающая рост напряжений при таком процессе, изображена на диаграмме кривой 0–6. Как видим, для того чтобы достичь таких же деформаций, как в процессе, отраженном ломаной 0–1–2–3–4, в этом случае требуются значительно бóльшие напряжения. Разгрузка образца, высушенного при стесненной усушке, – отрезок 6–7, обнаруживает весьма большие замороженные деформации, соответствующие отрезку 1–7. Однако они все же меньше тех, которые можно получить при более низких напряжениях, подвергая древесину нагружению во влажном состоянии, последующей сушке и разгрузке. Поэтому именно такая последовательность операций принята в технологических процессах гнутья и прессования древесины.

При нагружении древесины влажностью W_1 (при $W_н > W_1 > W_к$) схема изменений напряжений и деформаций будет иметь вид, показанный на рис. 68, а. Здесь отрезок 0–1 – сушка до W_1; 1–2 – нагружение при влажности W_1, т. е. ($\Delta W = \Delta W_1$) до напряжения σ_2, соответствующего деформации ε_0; 2–3 – сушка при $\sigma = \sigma_2 = \text{const}$ до влажности $W_к$, общая деформация не изменяется и равна ε_0; 3–4 – разгрузка при $W_к$. Отрезок 5–4 характеризует замороженную деформацию ε' в конце сушки. Зависимость замороженных деформаций от текущих значений ΔW имеет вид

$$\varepsilon_f = \begin{cases} \dfrac{\varepsilon_0 \gamma (\Delta W - \Delta W_1)}{1 + \gamma \Delta W} & \text{при} \quad \Delta W_1 < \Delta W \le \Delta W_к \ ; \\ 0 \quad \text{при} \quad 0 \le \Delta W \le \Delta W_1 \ , \end{cases} \tag{103}$$

где γ, ΔW – см. обозначения к (101).

Если, не разгружая древесину при $W_к$, вновь ее увлажнить, то необходимые для поддержания деформации $\varepsilon_0 = \text{const}$ напряжения определяются уравнением

$$\sigma_R = E_W (\varepsilon_0 - \varepsilon_f), \tag{104}$$

где E_W – модуль упругости при данной влажности W.

На диаграмме рис. 68,а напряжения σ_R на участке 3–2 сохраняются неизмененными, поскольку вызванное повышением влажности уменьшение E_W компенсируется увеличением обратимых (упруго-эластических) деформаций $\varepsilon_{ev} = \varepsilon_0 - \varepsilon_f$. Согласно (103) при дальнейшем увеличении влажности деформация $\varepsilon_f = 0$, и на участке 2–6 происходит релаксация напряжений σ_R, вызванная снижением E_W.

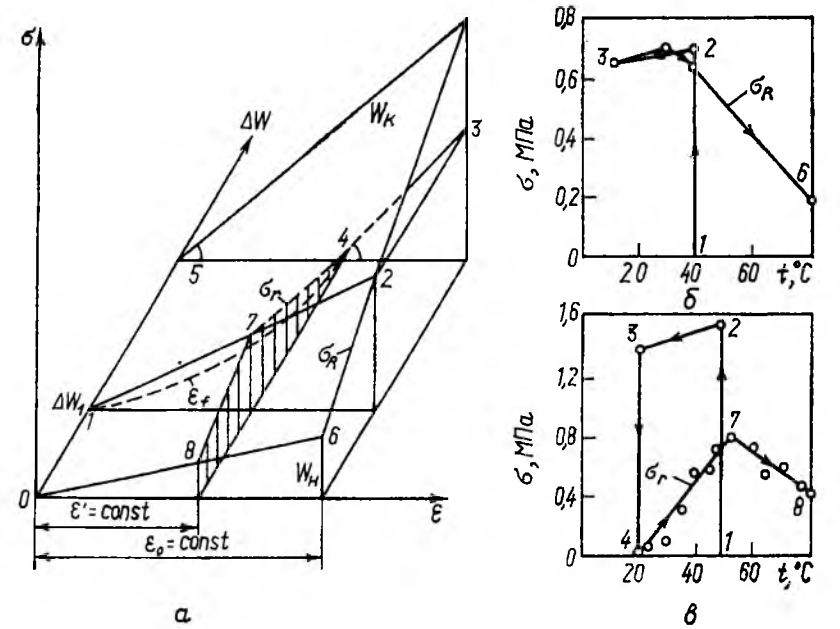


Рис. 68. Закономерности изменения напряжений от увлажнения или нагревания при постоянной деформации:

а – схема изменения напряжений σ_R и σ_r при увлажнении древесины; *б* – влияние температуры на напряжения σ_R при постоянной общей деформации. Кедр, сжатие в тангенциальном направлении, $\varepsilon_0 = 0{,}009$; *в* – влияние температуры на напряжения σ_r при постоянной задержанной деформации. Дуб, растяжение в радиальном направлении, $\varepsilon' = 0{,}007$

Если разгрузить древесину при $W_к$ и, поддерживая $\varepsilon' = \text{const}$, увлажнять ее, возникнут напряжения σ_r, определяемые выражением:

$$\sigma_r = E_W(\varepsilon' - \varepsilon_f). \qquad (105)$$

На рис. 68,а участок 4–7 отражает рост напряжений σ_r от стеснения редеформации, а участок 7–8 – спад напряжений из-за снижения E_W.

Аналогичные явления происходят и при изменении температуры. На рис. 68,б,в показаны некоторые результаты опытов, проведенных автором совместно с Э.Б. Щедриной, с насыщенной водой (для исключения усушки) древесиной. Как видно, закономерности, определяемые соотношениями (103), (104), (105), подтверждаются экспериментально. На рис. 68,б,в цифрами обозначены те же состояния, что и на рис. 68,а, полагая, разумеется, что изменяется не влажность, а температура древесины. Древесина "запоминает" температуру, при которой происходило ее нагружение, и зависимости $\sigma_R = f(t)$ и $\sigma_r = f(t)$ резко изменяют свой характер при нагре-

вании древесины выше указанной температуры. Эффект "памяти" у древесины связан с временной перестройкой ее наноструктуры под управляющим воздействием нагрузки при охлаждении или высыхании. Это проявляется при разгрузке в виде задержанных, "замороженных" деформаций. Нагревание или увлажнение древесины восстанавливает форму и размеры объекта или при стеснении возвращения задержанных деформаций вызывает появление напряжений.

Обобщая уже рассмотренные гигро-термомеханические деформации и учитывая возможность появления усталостных деформаций при циклических изменениях влажности (температуры) нагруженной древесины можно записать:

$$\varepsilon_{hm} = \varepsilon_e + \varepsilon_v + \varepsilon_{hv} + \varepsilon_c + \varepsilon_{hf}, \qquad (106)$$

где ε_{hm} – гигро-механическая деформация; ε_e – мгновенная, упругая деформация; ε_v – кратковременная, эластическая деформация (упругое последействие); ε_{hv} – деформация от уменьшения жесткости нагруженной древесины при увлажнении; ε_c – длительная деформация ползучести; ε_{hf} – деформация гигроусталости.

Рассматривая одноцикловое изменение влажности нагруженной древесины можно выделить два случая.

Случай 1. Увлажнение – нагружение – сушка

$$\varepsilon_{hm} = \varepsilon_e + \varepsilon_v + \varepsilon_c = \varepsilon_{ev} + \varepsilon_c, \qquad (107)$$

где ε_{ev} – упруго-эластическая деформация.

Случай 2. Нагружение – увлажнение – сушка

$$\varepsilon_{hm} = \varepsilon_{ev} + \varepsilon_{hv} + \varepsilon_c. \qquad (108)$$

В обоих случаях сушка не изменяет величину гигромеханических деформаций.

При разгрузке обнаруживается остаточная сет-деформация* (ε_s), равная:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_f + \varepsilon_r, \qquad (109)$$

где ε_f – замороженная упруго-эластическая деформация; ε_r – остаточная деформация ползучести.

Замороженная и остаточная деформация ползучести соответственно равны:

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_f &= \varepsilon_{ev_1} - \varepsilon_{ev_2} = \varepsilon_{hv}; \\ \varepsilon_r &= \varepsilon_{c_1}, \end{aligned}\right\} \qquad (110)$$

где индексы 1 и 2 означают влажное и сухое состояние древесины.

---

* От термина set, принятого в мировой литературе для обозначения остаточных деформаций, образующихся в результате сушки древесины.

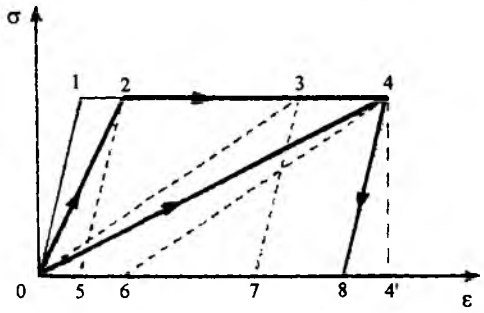


Рис. 69. Схема деформационных превращений древесины при изменении ее влажности

На рис. 69 показана схема изменения гигромеханических деформаций древесины, когда завершены не только временные, но и влажностные процессы. Здесь 0–1 – линеаризированная зависимость между напряжениями и упруго-эластическими деформациями ε_{ev_2} древесины в сухом состоянии при кратковременном нагружении; 1–2 – деформация ползучести ε_{c_2}; 0–2 – медленное нагружение сухой древесины; 1–3 – кратковременная влажностно-силовая деформация при увлажнении ε_{lw}; 3–4 – деформация ползучести влажной древесины ε_{c_1}. Разгрузка образца в сухом (2–5) и влажном (4–6) состоянии обнаруживает остаточные деформации ползучести, соответственно равные отрезкам 0–5 и 0–6.

Если нагруженная влажная древесина (после процесса 0–2–4 или 0–4) подвергается сушке, общая гигромеханическая деформация (0–4') не изменяется. После разгрузки в сухом состоянии возвращаются упруго-эластические деформации ε_{ev_2} (8–4') и остаются сет-деформации ε_s (0–8). Они включают замороженные деформации $\varepsilon_f = \varepsilon_{lw}$ (0–7) и остаточные деформации ползучести ε_{r_1} (отрезок 7–8, равный отрезку 3–4).

Аналогичные закономерности проявляются и при термомеханических деформациях. Как показали проведенные Г.А.Горбачевой (МГУЛ) эксперименты, древесина способна запоминать и вид нагрузки, управляющей образованием замороженных деформаций. При нагревании охлажденного нагруженного образца его размер из-за снятия замороженных деформаций растяжения или сжатия уменьшался или увеличивался. Так проявлялась деформационная память древесины на температуру при соответствующем виде нагрузки.

Возможно последовательное образование влагозамороженных и термозамороженных деформаций при сушке и охлаждении нагруженной древесины. При одновременном воздействии температуры и влажности наблюдается усиливающийся (синергетический) эффект.

Опыты МГУЛ (Г.А. Горбачева, В.П. Галкин, П.А. Аксенов) свидетельствует о том, что наложением влаго- и термозамороженных деформаций можно исправлять дефект сушки шпона, его волнистость.

Предварительные исследования ИК-спектров древесины, проведенные МГУЛ (В.П. Галкин, П.А. Аксенов) совместно с ИФТТ РАН (А.В. Баженов), показывают, что при замороженных деформациях наибольшие изменения происходят, главным образом, в целлюлозном каркасе древесины.

При многократных циклических изменениях влажности нагруженной древесины жесткость (и прочность) древесины снижается, т. е. происходит явление *гигроусталости*. Это явление было экспериментально исследовано в начале 90-х гг. автором совместно с Н.В. Скуратовым и Л.В. Поповкиной при растяжении в тангенциальном направлении поперек волокон древесины ели. Уже после шести циклов увлажнения–сушки с амплитудой 8 % (от 20 % до 12 %) при напряжениях 1,2 МПа модуль упругости снизился примерно на 30 %.

В 1960 г. австралийские ученые Л. Армстронг и Р. Кингстон обнаружили эффект увеличения прогиба нагруженных образцов древесины при циклических изменениях ее влажности, который позднее был назван "механо-сорбционной ползучестью". На самом деле этот эффект вызван, в основном, гигроусталостью древесины. Остающиеся после такой "тренировки" древесины сет-деформации включают остаточные деформации ползучести, замороженные деформации от одноциклового изменения влажности и деформации от гигроусталости.

Использование рядом исследователей: А. Ранта-Маунус, Т. Морен и др. понятия о механо-сорбционной ползучести для объяснения механизма развития сушильных напряжений в одноцикловых процессах не обосновано. Применяемый ими эмпирический коэффициент, снижающий расчетную величину сушильных напряжений, обусловлен образованием замороженных деформаций.

Реологические свойства древесины и особенности ее деформирования при различной последовательности силовых, влажностных и температурных воздействий учитываются при разработке режимов гидротермической и механической обработки, консервирования, модифицирования древесины, создании новых «интеллектуальных» древесных композитов.

§ 27. Длительная прочность и сопротивление усталости древесины

Способность древесины сопротивляться разрушению от длительно действующих и периодически изменяющихся нагрузок явилась предметом многочисленных исследований в связи с применением древесины в строительных конструкциях. Поскольку эти свойства зависят от фактора времени, их также можно считать реологическими.

Прочность древесины при длительных постоянных нагрузках. Исследованию прочности древесины при длительно действующих нагрузках и ее связи с возникающими при нагружении деформациями посвящены работы Ф.П. Белянкина, Ю.М. Иванова, Н.Л. Леонтьева, П.Н. Хухрянского, В.Н. Быковского, В.Ф. Яценко, Б.И. Огаркова и других отечественных, а также ряда зарубежных авторов (Л. Армстронг, Г. Христенсен, Р. Кингстон, Р. Дэвидсон, Ф. Кольман, Р. Пентоней, А. Шнивинд и др.). Целью большинства исследований явилось установление величины предела прочности при длительном действии нагрузок в направлении вдоль волокон. Характер изменения прочности древесины в зависимости от времени действия нагрузки отражает кривая, асимптотически приближающаяся к прямой, соответствующей напряжению, называемому пределом долговременного сопротивления (рис. 70). В среднем для всех видов напряженного состояния предел долговременного сопротивления составляет примерно 0,5–0,6 величины предела прочности при кратковременных статических испытаниях.

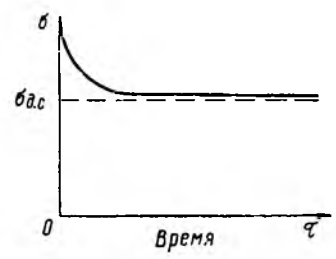


Рис. 70. Зависимость прочности древесины от продолжительности действия постоянной нагрузки

Н.Л. Леонтьев предложил устанавливать предел прочности при любой заранее заданной продолжительности нагрузки по формуле

$$\sigma_\tau = \sigma_{ст} + \alpha(\lg \tau_{ст} - \lg \tau), \qquad (111)$$

где σ_τ – предел прочности при данной продолжительности действия нагрузки, МПа; $\sigma_{ст}$ – предел прочности при стандартных испытаниях, МПа; $\tau_{ст}$ – время, потребное для разрушения образца при стандартных испытания; α – поправочное число, МПа.

Значения $\sigma_{ст}$ и α для различных пород и видов действия сил приведены в РТМ [27]. Расчеты по формуле (111) показывают, что, например, для древесины сосны при изгибе под действием постоянной нагрузки в течение 3 лет предел прочности составит 0,61 предела прочности при кратковременных испытаниях.

Ю.М. Иванов использовал для обобщения имеющихся данных о влиянии времени нагружения на прочность древесины разработанную акад. С.Н. Журковым и его последователями кинетическую теорию прочности твердых тел. Это позволяет объяснить разрушение древесины развивающимся во времени процессом накопления повреждений, происходящих на молекулярном уровне. Снижение прочности древесины при длительном действии нагрузки учитывается при расчете строительных конструкций.

Прочность древесины при переменных нагрузках. Некоторые деревянные конструкции во время эксплуатации подвергаются воздействию переменных по величине и направлению, т. е. вибрационных, нагрузок. Частота колебаний при этом обычно менее 50 гц. При таких низкочастотных механических воздействиях состояние древесины изменится из-за повреждений на молекулярном уровне. Вследствие большого количества перемен (циклов) нагрузки эти повреждения накапливаются и приводят к разрушению древесины, даже если величина напряжений сравнительно невелика. Указанное явление называют усталостью древесины.

По характеру изменения величины и знака напряжений циклы могут быть симметричными и асимметричными: знакопеременными и знакопостоянными, в том числе отнулевыми.

Испытания древесины на усталость проводят на специальных машинах, поддерживающих заданный закон нагружения. В момент разрушения образца по счетчику определяют общее число циклов. Испытывают несколько серий образцов при различной величине напряжений цикла и строят кривую усталости, напоминающую кривую длительного сопротивления (рис. 70), только в этом случае по оси абсцисс отложено не время, а число циклов. Со снижением величины напряжения кривая асимптотически приближается к прямой, параллельной оси абсцисс. Ординатой этой прямой является напряжение, носящее название предела выносливости.

В опытах К.К. Симинского и др. испытания древесины на усталость проводились на образцах круглого сечения, подвергавшихся переменному изгибу при вращении. По данным акад. Ф.П. Белянкина средняя величина предела выносливости для древесины равна примерно 0,2 статического предела прочности.

Усталостные испытания древесины с учетом ее анизотропии провел А.А. Поздняков на клееных образцах из березового шпона с параллельным расположением волокон (параллельная фанера). Отношение предела выносливости к пределу прочности при растяжении вдоль волокон параллельной фанеры из березового шпона составляет около 1/3, поперек волокон – примерно 1/2.

Обычно определяют ограниченный предел выносливости для заданного числа циклов. Число циклов, или база усталостных испытаний, задается при этом из условий работы материала в той или иной конструкции. Н.М. Фигурнов проводил усталостные испытания древесины для мостов на скалывание вдоль волокон при несимметричном отнулевом цикле. База испытаний равнялась 5 млн. циклов. Отношение ограниченно-

го предела выносливости к статическому пределу прочности при скалывании вдоль волокон (сосна) составляло при 10 %-ной влажности 0,25 и уменьшилось при 42 %-ной влажности до 0,17.

По данным А.Ю. Педдера изменение частоты колебаний от 1 до 50 Гц не отражалось на величине предела выносливости. С повышением частоты колебаний до 100 Гц предел выносливости, как и следовало ожидать, увеличивался.

§ 28. Ударная вязкость, твердость и износостойкость древесины

Показатели указанных технологических и эксплуатационных свойств определяют при механических испытаниях многих материалов. Для древесины методы этих испытаний стандартизованы.

Ударная вязкость древесины. Способность древесины поглощать работу при ударе без разрушения определяется при испытаниях на изгиб. Чем больше величина работы, потребной для излома образца древесины, тем выше его вязкость. Если древесина хрупкая, для разрушения образца необходимо затратить меньшую величину работы.

Испытания проводят, используя такие же образцы, как и на статический изгиб. Однако в этом случае применяют специальную испытательную машину – маятниковый копер с запасом энергии 100 Дж. Схема испытаний показана на рис. 71. Образец располагают так, чтобы он был прижат радиальной поверхностью к горизонтальных опорам и удар маятника пришелся бы на середину длины образца. Опоры и боек маятника имеют закругления радиусом 15 мм.

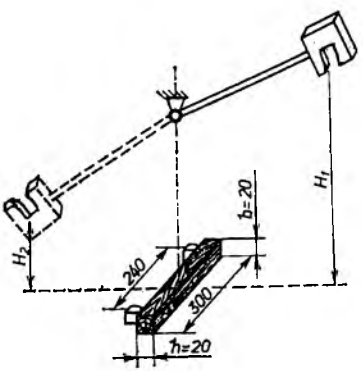


Рис. 71. Схема испытаний древесины на ударную вязкость при изгибе

В исходном положении маятник обладает запасом энергии, определяемым высотой его подъема H_1. При падении маятник одним ударом разрушает образец и поднимается на меньшую высоту H_2. При этом расходуется часть энергии, которую можно определить по разнице высот H_1 и H_2. По шкале копра отсчитывают работу Q, затраченную на разрушение образца при изломе.

Ударную вязкость, Дж/см^2, вычисляют по формуле

$$A_w = \frac{Q}{bh}, \qquad (112)$$

где Q – работа, затраченная на излом образца при данной влажности, Дж; b – ширина образца, см; h – высота образца, см.

Поправочный коэффициент на влажность для всех пород равен $\alpha = 0{,}02$.

Показатели ударной вязкости для расчетов конструкций не используются, они служат лишь для сравнительной оценки качества древесины. Вязкая древесина с высоким сопротивлением ударному изгибу имеет зазубристый излом, в то время как хрупкая древесина – раковистый.

Значения показателей ударной вязкости основных пород даны в табл. 40. Древесина лиственных пород имеет ударную вязкость в среднем в 2 раза (мягкие в 1,5, твердые в 2,5 раза) большую, чем древесина хвойных пород.

При радиальном изгибе древесина хвойных и кольцесосудистых пород имеет показатели на 20–50 % больше, чем при стандартизованном тангенциальном изгибе.

40. Ударная вязкость древесины

Порода	Ударная вязкость, Дж/см^2, при влажности, %		Порода	Ударная вязкость, Дж/см^2, при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	5,3	4,9	Ясень	8,9	7,4
Сосна	4,1	3,5	Осина	8,5	7,2
Ель	3,9	3,3	Бук	7,6	6,5
Кедр	3,1	2,6	Дуб	7,6	6,5
Пихта сибирская	3,2	2,7	Клен	7,6	6,5
Акация белая	19,0	16,1	Орех грецкий	7,4	6,3
Груша	11,6	9,8	Липа	5,8	4,9
Граб	9,9	8,4	Ольха	5,2	4,3
Береза	9,3	7,8	Тополь	3,9	3,3
Вяз	9,3	7,8			

При испытаниях по описанной стандартной методике скорость приложения нагрузки 5 – 6 м/с. Сопротивление ударному изгибу таких же образцов древесины при значительно более высоких скоростях (до 200 м/с), по данным В.В. Памфилова (БрТИ), резко возрастает.

Твердость древесины. Это свойство древесины характеризует ее способность сопротивляться вдавливанию тела из более твердого материала. Испытания на статическую твердость проводят на торцовой, радиальной и тангенциальной поверхностях образца древесины путем

вдавливания стального индентора (пуансона). Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы сечением 50×50 мм и длиной вдоль волокон не менее 50 мм.

Для испытаний на твердость используют такое же приспособление, как для сжатия поперек волокон, но с пуансоном, полусферический наконечник которого имеет радиус r = 5,64 мм (рис. 72). Вдавливание пуансона проводят за 1–2 мин на глубину 5,64 мм, что устанавливается по показаниям индикатора. В конце нагружения по шкале силоизмерителя машины отсчитывают нагрузку P. После испытания в древесине остается отпечаток, площадь проекции которого при указанном радиусе полусферы составляет 100 мм^2.

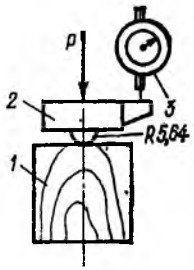


Рис. 72. Схема испытаний древесины на статическую твердость:
1 – образец; *2* – пуансон с полусферическим наконечником; *3* – индикатор часового типа

Статическую твердость образца, Н/мм^2, определяют по формуле

$$H_W^c = \frac{P}{\pi r^2}. \qquad (113)$$

Если наблюдается раскалывание образцов, то пуансон вдавливают на глубину 2,82 мм, и тогда твердость определяют по формуле

$$H_W'^c = \frac{4P}{3\pi r^2}. \qquad (114)$$

В обоих случаях определяют не давление и не напряжение, измеряемое в Па, а некоторый условный показатель – величину усилий, приходящихся на единицу площади проекции отпечатка. Пересчетный коэффициент на влажность равен 0,03.

Статическая твердость торцовой поверхности выше, чем боковых поверхностей у хвойных пород в среднем на 40 %, а у лиственных – на 30 %. У большинства пород различия между твердостью радиальной и тангенциальной поверхности практически нет. Однако у пород с хорошо развитыми сердцевинными лучами (дуб, бук, ильм) твердость радиальной поверхности на 5–10 % выше твердости тангенциальной поверхности. Средние показатели для основных пород приведены в табл. 41.

41. Статическая твердость древесины

Порода	Твердость, Н/мм^2, древесины на поверхности					
	торцовой		радиальной		тангенциальной	
	Влажность, %					
	12	30 и более	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница	42,0	20,1	31,5	14,8	33,4	15,7
Сосна	28,4	13,2	22,5	10,6	23,2	10,9
Пихта сибирская	27,4	12,9	15,1	7,1	14,2	6,7
Ель	25,3	12,0	17,5	8,2	17,8	8,5
Кедр	21,6	10,3	14,8	7,0	15,4	7,2
Акация белая	94,2	56,2	58,9	39,6	75,9	45,4
Граб	88,4	52,5	75,9	45,2	78,1	46,4
Ясень	78,3	46,8	57,1	34,1	65,1	38,9
Груша	77,0	46,1	57,7	34,5	58,9	35,2
Клен	73,8	44,1	54,1	32,3	57,4	34,3
Дуб	66,5	39,2	54,5	32,6	47,5	28,4
Бук	65,1	38,7	53,2	31,7	49,5	22,5
Вяз	54,7	32,7	41,2	24,6	41,1	24,6
Береза	46,3	27,5	35,9	21,5	32,1	19,2
Ольха	39,2	23,5	26,5	15,9	28,2	16,8
Осина	25,8	15,4	18,7	11,2	19,6	11,7
Тополь	26,7	15,9	18,5	11,0	–	–
Липа	25,0	15,0	16,7	10,0	17,4	10,4

Все отечественные породы по твердости торцовой поверхности древесины при влажности 12 % можно разделить на следующие три группы: мягкие (твердость 40 Н/мм^2 и менее), твердые (41–80 Н/мм^2) и очень твердые (более 80 Н/мм^2). К последней группе, кроме указанных в табл. 41 акации и граба, относятся береза железная, глоговина, кизил, самшит, железное дерево, тис, хмелеграб, фисташка.

По СТ СЭВ 1263–78 лиственные породы делятся на мягкие (твердость древесины 49 Н/мм^2 и менее) и твердые (твердость 50 Н/мм^2 и более).

В МЛТИ (В.Г. Санаев) была определена твердость древесины на участках гораздо меньших, чем при стандартных испытаниях. Измерялось давление на древесину при вдавливании индентора радиусом 60 мкм под нагрузкой 0,3 Н в течение 1,5 мин (глубина вдавливания была разная). Некоторые результаты этих исследований приведены в табл. 42. Как и следовало ожидать, поздняя древесина, особенно у хвойных пород, имеет значительно большую твердость, чем ранняя древесина.

42. Микротвердость древесины на радиальной поверхности

Порода, участок измерения	Микротвердость, МПа	Порода, участок измерения	Микротвердость, МПа
Лиственница:		Дуб:	
ранняя зона	20,1	ранняя зона	52,4
поздняя зона	134,2	поздняя зона	92,7
Сосна:		сердцевинные лучи	75,0
ранняя зона	20,6	Бук:	
поздняя зона	105,4	ранняя зона	57,0
Ель:		сердцевинные лучи	84,2
ранняя зона	18,0	Орех грецкий:	
поздняя зона	111,0	ранняя зона	57,0
		поздняя зона	84,1

Для определения ударной твердости применяется стандартизованный метод А.Х. Певцова. Мерой твердости служит величина отпечатка, остающегося на исследуемой поверхности древесины после сбрасывания на нее стального шарика. Образцы изготовляют в виде прямоугольного бруска размером 20×20 мм и длиной 150 мм. Используя установку, описание которой дано в пособии [70], сбрасывают шарик диаметром 25 мм с высоты 500 мм на радиальную поверхность образца в трех точках. Расстояние между центрами отпечатков должно быть примерно 40 мм. Отпечатки имеют овальную форму, больший диаметр d_1 направлен поперек волокон, меньший d_2 – вдоль волокон.

Ударную твердость образца, Дж/см^2, вычисляют по формуле

$$H_w^y = \frac{4Gh}{\pi d_1 d_2}, \qquad (115)$$

где G – вес шарика, Н; h – высота падения, м; d_1 и d_2 – диаметры отпечатка, см.

Ударная твердость радиальной поверхности древесины некоторых пород приведена в табл. 43.

43. Ударная твердость древесины

Порода	Ударная твердость, Дж/см^2, при влажности, %		Порода	Ударная твердость, Дж/см^2, при влажности, %	
	12	30 и более		12	30 и более
Лиственница	0,90	0,68	Акация белая	1,21	0,96
Ель	0,73	0,56	Бук	0,96	0,79
Сосна	0,72	0,55	Береза	0,80	0,67
Пихта кавказская	0,65	0,50	Осина	0,73	0,62
Кедр	0,62	0,47	Тополь	0,68	0,57

Износостойкость древесины. Так называется способность древесины сопротивляться износу, т. е. постепенному разрушению ее поверхностных зон при трении от воздействия абразивных элементов или микронеров-

ностей более твердого тела. Первый вид износа наблюдается под воздействием песка и других абразивных частиц при истирании полов, палуб и т. д.; второй – в трущихся частях машин (вкладыши подшипников, оси и пр.).

Для первого случая износа в ЦНИИМОДе разработан стандартный метод (ГОСТ 16483.39–81) испытаний. Используется испытательная машина (рис. 73), обеспечивающая истирание древесины прижимаемой к ней шлифовальной шкуркой при возвратно-поступательном движении образца с одновременным его поворотом. Образцы имеют форму призмы размерами 50×50×20 мм (последний размер по высоте образца). На отдельных образцах испытывают износостойкость поверхностей поперечного, тангенциального и радиального разрезов.

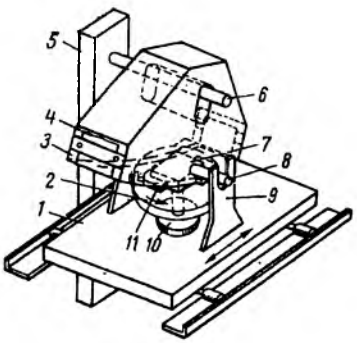


Рис. 73. Схема машины для испытания древесины на истирание:
1 – стол; *2* – диск; *3* – груз; *4* – абразивная шкурка; *5* – стойка; *6* – ось; *7* – образец; *8* – шпилька; *9* – стойка; *10* – храповой механизм; *11* – приспособление для крепления образца

Измеряют высоту и массу образца после 400 возвратно-поступательных движений. Показатель истирания t, мм, вычисляют по формуле

$$t = h\frac{m_1 - m_2}{m_1}, \qquad (116)$$

где h – высота образца до испытания, мм; m_1, m_2 – масса образца соответственно до и после испытания, г.

В табл. 44 приведены данные ЦНИИМОДа об износостойкости древесины некоторых пород.

44. Износостойкость древесины некоторых пород

Порода	Район произрастания	Показатель истирания, мм, поверхности разрезов		
		поперечного	радиального	тангенциального
Лиственница	Иркутская обл.	0,07	0,17	0,14
Сосна	Иркутская обл.	0,12	0,31	0,28
Ель	Иркутская обл.	0,18	0,24	0,24
Пихта	Иркутская обл.	0,18	0,26	0,30
Ясень	Татарстан	0,09	0,17	0,14
Береза	Архангельская обл.	0,13	0,26	0,29

Из табл. 44 следует, что износ боковых поверхностей значительно больше, чем поверхности поперечного разреза. С повышением плотности и

твердости древесины износ уменьшается. У влажной древесины износ больше, чем у сухой.

Аналогичным образом влияют указанные факторы и на износ древесины в трущихся частях машин. Для определения износостойкости древесины в этом случае можно использовать метод Н.Н. Суродейкина. Неподвижно закрепленный образец древесины подвергается истиранию вращающейся втулкой из закаленной инструментальной стали, прижимаемой к образцу с определенным усилием. Показателем износа служит объем, получающейся в образце лунки после определенного числа оборотов истирающей втулки.

§ 29. Способность древесины удерживать крепления, гнуться и раскалываться

В данную группу входят своеобразные технологические свойства древесины; методы испытаний двух из указанных свойств стандатизованы.

Способность древесины удерживать крепления. Уникальное свойство древесины удерживать гвозди, шурупы, скобы, костыли и другие крепления имеет важное практическое значение. При забивании гвоздя в древесину происходит частичное разрушение ее и возникают упругие деформации примыкающих к нему областей. На боковую поверхность гвоздя со стороны деформированной древесины оказывается давление, которое вызывает трение, удерживающее гвоздь.

Согласно разработанному ЦНИИМОДом стандартному методу (ГОСТ 16483.33–77) сопротивление, оказываемое древесиной выдергиванию гвоздя или шурупа, определяют следующим образом. В образец древесины, имеющий форму бруска сечением 50×50 мм и длиной 150 мм. забивают гвозди или ввинчивают шурупы по схеме, показанной на рис. 74,а. Для испытаний применяют гвозди диаметром 2,0 мм и шурупы диаметром 4,0 мм, длиной не менее 50 мм. Глубина забивания гвоздей 30 ± 1,0 мм, ввинчивания шурупов – 20 ± 1,0 мм. Шурупы ввинчивают в предварительно высверленные на глубину 16 ± 1,0 мм отверстия. Образец с гвоздями (шурупами) размещают в приспособления, как показано на рис. 74,б. Выдергивание гвоздей (шурупов) проводят при равномерной скорости перемещения захвата испытательной машины за 1–3 мин. Зафиксировав максимальную нагрузку P_{max}, Н, вычисляют удельное сопротивление выдергиванию гвоздей (шурупов), Н/мм, по формуле

$$P_{уд} = \frac{P_{max}}{l}, \qquad (117)$$

где l – глубина забивания (ввинчивания) гвоздя (шурупа), мм.

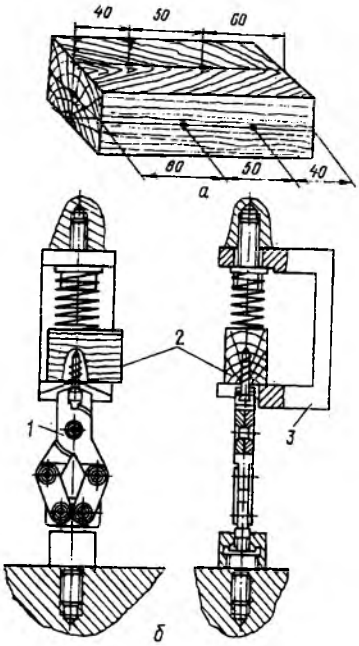


Рис. 74. Испытание древесины на способность удерживать гвозди и шурупы:
а – образец; *б* – приспособление для выдергивания гвоздей и шурупов: *1* – клещи для захвата шляпки гвоздя (головки шурупа); *2* – образец с гвоздями (шурупом); *3* – скоба для крепления образца

Сопротивление выдергиванию гвоздей прежде всего зависит от направления. Так, по данным С.Н. Рыкунина (МЛТИ), усилие, необходимое для выдергивания гвоздя, забитого в торец образцов из древесины дуба, сосны, осины, ольхи и ели, на 10–50 % меньше усилия, прилагаемого к гвоздю, забитому поперек волокон; сопротивление выдергиванию гвоздей, забитых в радиальном и тангенциальном направлении, практически одинаково.

С повышением плотности сопротивление древесины выдергиванию гвоздя или шурупа увеличивается; так, вдавливание и выдергивание гвоздей из древесины граба (плотность 730 кг/м^3) требует усилий примерно в 4 раза больших, чем для древесины сосны (плотность 440 кг/м^3).

Чем выше влажность древесины, тем меньше усилие для забивания гвоздя. Забитый в сырой образец гвоздь вытащить после высыхания древесины легче, чем гвоздь, забитый сразу в сухую древесину. Это объясняется тем, что в первом случае часть упругих деформаций переходит в замороженные, остаточные и трение, удерживающее гвоздь в древесине, снижается.

Усилия, необходимые для выдергивания шурупов, при прочих равных условиях, больше, чем гвоздей, так как в этом случае к трению присоединяется сопротивление волокон перерезанию и разрыву. Для шурупов одинакового с гвоздями диаметра, но вдвое меньшей длины, это усилие оказалось в 2 раза больше [56].

Способность древесины гнуться. Технологическая операция гнутья древесины основана на ее способности сравнительно легко деформироваться при действии изгибающих усилий. Предельная деформация, после достижения которой наступает разрушение древесины, у разных пород различна. Для оценки способности древесины принимать заданную форму при загибе стандартного метода пока нет. Однако известен [56] следую-

щий метод: образец в форме бруска размерами 10×30×500 мм последовательно загибают на сменных шаблонах уменьшающегося радиуса до появление в образце явных следов начала разрушения (отщеп, складка, излом). Радиус последнего шаблона, на котором произошло разрушение образца, характеризует способность древесины к загибу. Более высокой способностью к загибу отличается древесина кольцесосудистых пород – дуба, ясеня и др., а из рассеяннососудистых – бука; хвойные породы обладают меньшей способностью к загибу. Гнутью подвергают древесину, находящуюся в нагретом и влажном состоянии. Это увеличивает ее податливость и позволяет, вследствие образования замороженных деформаций при последующем охлаждении и сушке под нагрузкой, зафиксировать новую форму детали.

Способность древесины раскалываться. Раскалыванием древесины принято называть разделение ее вдоль волокон под действием нагрузки, переданной через клин.

Для испытаний древесины на раскалывание используют стандартизованную методику, применяя образец с заранее выпиленным клиновидным вырезом. На рис. 75 изображен образец для раскалывания в тангенциальной плоскости. Такой же образец, но с годичными слоями, направленными на торце вдоль высоты, применяется для раскалывания в радиальной плоскости. До испытаний измеряют ширину образца на уровне линии раскалывания, затем на образец надевают подвижные захваты (стремена). Образец нагружают с постоянной скоростью так, чтобы разрушение произошло через 1–2 мин.

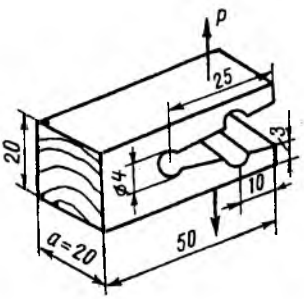


Рис. 75. Образец для испытания древесины на раскалывание

Сопротивление раскалыванию, Н/мм, вычисляют по формуле

$$S_W = \frac{P_{max}}{a}, \qquad (118)$$

где P_{max} – разрушающая нагрузка, Н; a – ширина образца, мм.

Показатели, характеризующие сопротивление раскалыванию древесины некоторых пород, приведены в табл. 45.

Следует заметить, что, как показал Г.А. Вильке, определенные по описанной выше методике показатели условны, в расчетах их применять нельзя. Они пригодны лишь для сравнительной оценки этого свойства древесины у разных пород. Сопротивление раскалыванию у древесины лиственных пород, особенно с хорошо развитыми сердцевинными лучами (дуб, бук), в тангенциальном направлении больше, чем в радиальном. У хвой-

ных пород эта разница меньше (или совсем отсутствует). В среднем сопротивление раскалыванию у древесины лиственных пород больше, чем у хвойных.

45. Сопротивление древесины раскалыванию

Порода	Сопротивление раскалыванию, Н/мм			
	в радиальной плоскости при влажности, %		в тангенциальной плоскости при влажности, %	
	12	30 и более	12	30 и более
Лиственница сибирская	13,4	8,3	13,3	8,2
Сосна	11,5	7,2	11,3	7,1
Ель сибирская	9,7	5,7	9,3	5,8
Пихта сибирская	7,4	4,6	9,0	5,6
Акация белая	20,9	13,0	27,2	16,8
Клен полевой	22,6	14,0	27,4	17,0
Ясень	22,2	13,6	23,0	14,2
Граб	21,0	13,0	28,2	17,6
Бук	16,7	10,4	25,2	15,7
Вяз	16,7	10,4	18,2	11,2
Дуб	16,6	10,3	22,5	14,0
Береза	16,5	10,3	20,6	12,8
Липа	14,6	9,0	17,9	11,4
Ольха	14,1	8,7	17,0	10,6
Осина	11,5	7,2	15,5	9,6
Тополь	10,0	6,1	13,1	8,1

Способность древесины раскалываться рассматривается как положительное свойство при заготовке колотых сортиментов (клепка, гонт, дранка, спицы и пр.) и как отрицательное при забивке гвоздей, костылей, скоб, ввинчивании шурупов.

§ 30. Удельные характеристики механических свойств древесины

Для сравнительной оценки качества древесины применяют удельные характеристики механических свойств, представляющие собой показатели, отнесенные к единице плотности.

В табл. 46 представлены удельные характеристики прочности, жесткости, ударной вязкости и твердости древесины при влажности 12 %. При исчислении удельных характеристик показатели прочности, КПа, и жесткости (модуль упругости при сжатии вдоль волокон), МПа, ударная вязкость при изгибе, Дж/см^2, и твердость, Н/см^2, были разделены на плотность, кг/м^3.

Удельная прочность при сжатии и статическом изгибе у хвойных пород оказывается выше, чем у лиственных. Значительно выше у хвойных

пород и удельная жесткость (особенно у древесины ели и пихты). По остальным свойствам удельные характеристики у древесины лиственных пород выше, чем у хвойных.

46. Удельные характеристики механических свойств древесины

Порода	Прочность при сжатии вдоль волокон	Прочность при статическом изгибе	Прочность при скалывании вдоль волокон*	Ударная вязкость при изгибе	Твердость торцовой поверхности	Жесткость вдоль волокон
Хвойные:						
Лиственница	98	169	14,7	$81 \cdot 10^{-4}$	6,6	–
Сосна	97	172	14,8	$83 \cdot 10^{-4}$	5,7	24,6
Ель	100	178	15,5	$90 \cdot 10^{-4}$	5,8	33,3
Кедр	97	169	15,6	$74 \cdot 10^{-4}$	5,1	–
Пихта сибирская	104	183	17,1	$80 \cdot 10^{-4}$	7,5	29,3
В среднем	99	176	15,5	$81 \cdot 10^{-4}$	6,1	29,0
Лиственные:						
Дуб	83	156	16,2	$113 \cdot 10^{-4}$	9,8	21,0
Ясень	87	181	20,0	$132 \cdot 10^{-4}$	11,8	22,8
Бук	82	162	17,2	$122 \cdot 10^{-4}$	9,1	–
Береза	87	174	16,2	$151 \cdot 10^{-4}$	7,5	26,1
Липа	92	177	17,0	$119 \cdot 10^{-4}$	5,2	–
Ольха	85	155	17,2	$102 \cdot 10^{-4}$	7,7	25,8
Осина	86	157	15,2	$174 \cdot 10^{-4}$	5,3	26,3
В среднем	86	166	17,0	$130 \cdot 10^{-4}$	8,1	24,5

* Средняя для радиального и тангенциального направлений.

Удельные характеристики древесины имеют особое значение, когда от изделия или конструкции требуется высокая прочность и жесткость при малой массе (например, в транспортном машиностроении, авиа- и судостроении, строительстве и т. д.), при отборе древесины для производства музыкальных инструментов и в других случаях.

По удельной прочности древесина вполне конкурентоспособна с другими современными материалами, а по удельной жесткости (вдоль волокон) во много раз превосходит полимеры. Так, например, удельная прочность при растяжении древесины сосны равна 206, а дюралюминия 150–175, стеклопластика 263; удельная жесткость древесины сосны (вдоль волокон) 24,6, а полиакрилатов 3,3, капрона 1,3.

§ 31. Характеристики древесины как конструкционного материала

Рассмотренные в предыдущих параграфах показатели механических свойств относились к малым образцам чистой древесины. Элементы деревянных конструкций и детали изделий имеют обычно значительно большие размеры и содержат пороки древесины. Отечественные (Г.Г. Карлсен, Е.М. Знаменский, А.Н. Флаксерман, Л.М. Перелыгин, А.Б. Губенко, В.Н. Быковский, Е.И. Савков, Ю.С. Соболев [62], Л.М. Ковальчук [33] и др.) и зарубежные [62] ученые исследовали влияние различных факторов на материал, используемый в цельнодеревянных и деревянных клееных конструкциях (ДКК). При проектировании деревянных конструкций согласно строительным нормам и правилам СНиП П-25–80* в расчетах используют не пределы прочности малых образцов древесины, а в несколько раз меньшие показатели – расчетные сопротивления. Они учитывают бóльшие размеры элементов конструкций, наличие пороков древесины, изменчивость ее свойств, длительность действия нагрузки и другие факторы.

В табл. 47. приведены значения расчетных сопротивлений для древесины сосны и ели. В СНиП указаны требования к прочности конструкционной древесины каждого сорта.

47.Расчетные сопротивления древесины сосны и ели

Вид напряженного состояния	Расчетные сопротивления, МПа, для сортов древесины		
	1	2	3
Изгиб, сжатие вдоль волокон	14–16	13–15	8,5–15
Растяжение вдоль волокон	10	7	–
Сжатие поперек волокон	1,8	1,8	1,8
Местное смятие поперек волокон	3–4	3–4	3–4
Скалывание вдоль волокон	1,8 –2,4	1,6–2,1	1,6–2,1
Скалывание поперек волокон	1,0	0,8	0,6

Базисные показатели, представленные в таблице, умножают на ряд коэффициентов, учитывающих породу, состояние материала и условия его работы в конструкциях.

Если нагрузка приложена к элементу конструкции, находящейся в условиях повышенной влажности, то расчетное сопротивление R умножают на снижающие коэффициенты 0,75–0,9, а влияние повышенной температуры учитывают коэффициентами 0,8–1. В том случае, когда действуют кратковременные (ветровая, сейсмическая) нагрузки, расчетное сопротивление умножают на коэффициенты больше единицы (1,2–1,6); совместное

* Ныне включены в СТО 36554501-002-2006, ФГУП НИЦ «Строительство»

действие постоянных и временных длительных нагрузок учитывают коэффициентом 0,8.

Модули упругости вдоль и поперек волокон древесины всех пород принимают равными соответственно 10 ГПа и 400 МПа. Модуль сдвига в плоскости вдоль волокон 500 МПа, коэффициенты поперечной деформации при действии усилий вдоль $\mu_{\perp,\parallel}$ и поперек волокон $\mu_{\parallel,\perp}$ соответственно 0,5 и 0,2.

ГЛАВА 6. ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗИ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

§ 32. Изменчивость свойств древесины

Даже в пределах одной породы наблюдается изменчивость свойств древесины, обусловленная возрастными изменениями дерева, влиянием окружающей среды и наследственными факторами. Особенности строения отражаются на величине плотности древесины. Чем толще клеточные стенки, длиннее волокна и больше содержание поздней древесины в годичных слоях, тем выше значения плотности древесины в целом.

С другой стороны, плотность тесно связана с большинством физических и механических свойств древесины. Поэтому, рассматривая закономерности изменения плотности, можно получить представление об изменчивости и других свойств.

Изменчивость свойств древесины в отдельном дереве. По радиусу ствола плотность периодически меняется, что особенно заметно у хвойных и кольцесосудистых лиственных. Современные способы исследования плотности древесины, например, с помощью радиоактивных излучений, позволяют проследить закономерности изменения этого свойства как в пределах каждого годичного слоя, так и на протяжении всего радиуса ствола.

На рис. 76 показано изменение плотности древесины (денситограмма), установленное по поглощению β-лучей (источник излучения – углерод-14) в древесине сосны смолистой. Поперечный срез взят из ствола ниже области живой кроны. Как видим, значения плотности в поздних зонах выше, чем в ранних, в 2–3 раза. Плотность ранних зон по мере удаления от сердцевины несколько уменьшается, затем на протяжении значительной доли радиуса остается постоянной и лишь у самой коры возрастает. У поздних зон характер изменения плотности другой – она возрастает в направлении от сердцевины к коре.

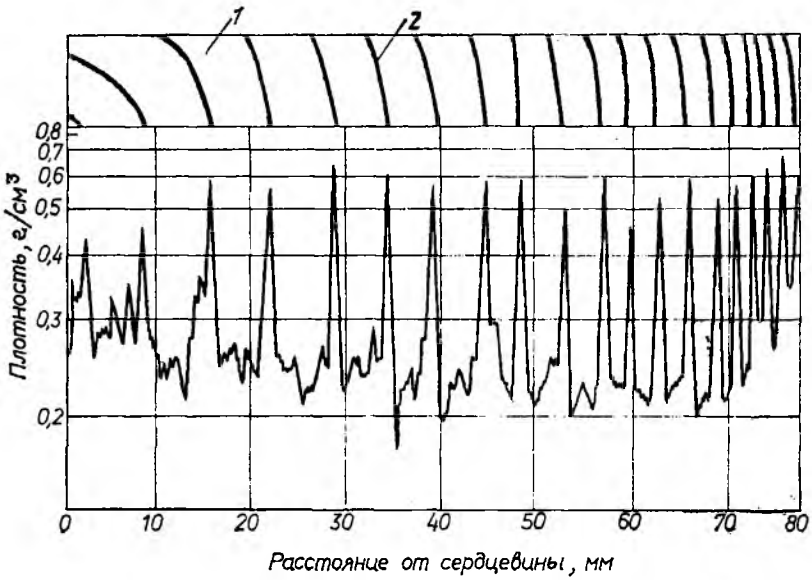


Рис. 76. Изменение плотности древесины по радиусу ствола сосны смолистой (*Pinus resinosa Ait*). Измерено методом поглощения β-лучей [по 99]
1 – ранние зоны; 2 – поздние зоны годичных слоев

В отношении закономерностей изменения усредненных показателей плотности по радиусу ствола различных пород существуют несколько противоречивые мнения. При обобщении результатов испытаний образцов, взятых на разных уровнях ствола, было установлено [56], что у хвойных пород (сосна, кедр, лиственница) в возрасте спелости плотность древесины вначале возрастает по направлению от сердцевины к коре, достигает максимума примерно на 2/3 радиуса, после чего вновь начинает снижаться. В стволах деревьев ели из древостоев более высоких бонитетов (II бонитета) наблюдается непрерывное увеличение плотности древесины по направлению от сердцевины к коре, в стволах деревьев из древостоев III – IV бонитетов закономерность оказалась такой же, как для сосны. В стволах пихты сибирской происходит увеличение плотности по направлению от сердцевины к коре. В стволах кольцесосудистых лиственных пород (дуба, ясеня) плотность древесины снижается, а рассеяннососудистых – повышается в указанном направлении.

У дальневосточных пород, как следует из данных ВИАМ, изменение плотности (и прочности) подчиняется общей для всех трех групп (хвойных, кольцесосудистых, рассеяннососудистых) пород закономерности: по направлению от сердцевины к коре плотность сначала возрастает, достигает максимума, а затем вновь уменьшается.

В отношении сибирских пород исследования ИЛД показали, что плотность у сосны непрерывно увеличивается от сердцевины к коре; у лиственницы максимальное значение плотности наблюдается на половине радиуса, а у ели здесь отмечается минимальное значение плотности. У березы плотность по направлению от сердцевины к коре повышается, а у осины снижается.

Для сосны, ели, березы и осины, произрастающих на Северо-Западе европейской части страны, получены [57] общие закономерности, свидетельствующие об увеличении плотности по мере удаления от сердцевины. Исключение составила лишь древесина осины, у которой в вершинной части ствола была обнаружена обратная зависимость. В качестве иллюстрации на рис. 77 показано изменение плотности древесины сосны и березы по радиусу ствола на трех уровнях его высоты.

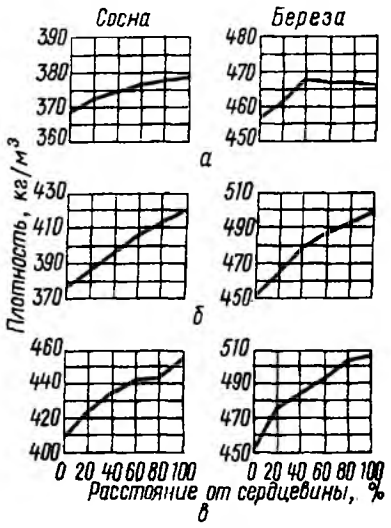


Рис. 77. Изменение плотности древесины сосны и березы по радиусу ствола [по 57]:
а – вершинная часть ствола; *б* – средняя; *в* – комлевая

По данным зарубежных исследователей, обобщенным в работе [99], для хвойных пород характерно увеличение плотности по направлению к коре либо начиная от самой сердцевины, либо несколько отступя от нее. Для березы и тополя также отмечается повышение плотности в направлении от сердцевины к коре, а для дуба и бука – уменьшение плотности в указанном направлении.

По последним данным, полученным Н.Е. Косиченко для хвойных пород, произрастающих в Европейской части России, ширина поздней зоны годичных слоев во время роста дерева изменяется мало, тогда как ширина ранней зоны уменьшается. Поэтому плотность древесины хвойных пород увеличивается по радиусу ствола. У кольцесосудистых пород, наоборот, сокращается ширина поздней зоны и плотность древесины при удалении от сердцевины падает.

Следует отметить, что у хвойных пород, особенно у сосны, выделяется примыкающая к сердцевине зона так называемой ювенильной (незрелой) древесины. Формирование ювенильной древесины происходит в первые 5–20 лет жизни дерева и связано с деятельностью апикальной ме-

ристемы (верхушечной образовательной ткани). У ювенильной древесины тонкие клеточные стенки и низкая плотность поздних зон годичных слоев. Ювенильная древесина отличается от зрелой меньшим содержанием целлюлозы, большой продольной усушкой и другими особенностями. Свойства ювенильной древесины наших пород изучены недостаточно. Размеры этой зоны оказывают влияние на характер распределения плотности по радиусу ствола. Различия в плотности древесины по радиусу ствола у разных пород колеблются в пределах 5–20 %.

По высоте ствола также наблюдается изменение плотности. Ранее полагали [56], что для всех пород характерно уменьшение плотности от комля к вершине и лишь у некоторых пород плотность незначительно повышается в зоне живой кроны.

По данным ИЛД для сибирских пород: сосны, лиственницы, березы и осины плотность действительно уменьшается по высоте ствола, но у ели она увеличивается. Отмечается бóльшая изменчивость плотности по высоте ствола, чем по радиусу.

Зависимости, показанные на рис. 78, дают представление об изменении плотности древесных пород, произрастающих в северо-западных районах европейской части страны. Общность характера изменения плотности у ели и осины объясняется тем, что деревья этих пород (в отличие от сосны и березы) имеют низкоопущенную крону.

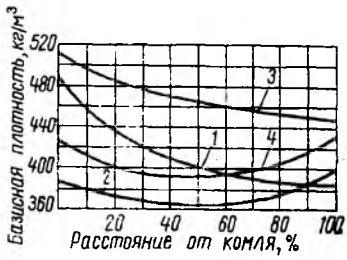


Рис. 78. Изменение плотности древесины по высоте ствола [по 57]:
1 – сосна; *2* – ель; *3* – береза; *4* – осина

Изменчивость свойств древесины в пределах породы. Влиянию различных лесоводственных факторов на физико-механические свойства древесины в пределах породы посвящено много работ, результаты которых были обобщены Л.М. Перелыгиным [56]. Этим вопросам посвящены работы В.Е. Вихрова, М.Д. Данилова, А.Б. Жукова, А.И. Калниньша, И.С. Мелехова и др. Однако пока еще очень трудно выделить наиболее общие закономерности изменчивости свойств в зависимости от влияния многих взаимодействующих факторов.

В работе [57] рассмотрено влияние ряда факторов на изменчивость средней плотности древесины ствола в пределах породы. Изменчивость плотности древесины наблюдается в одновозрастных насаждениях. Так, коэффициент изменчивости базисной плотности деревьев 90–100 летних одновозрастных древостоев ели (Ленинградская обл.) для двух типов леса – ельника-кисличника и ельника-черничника составлял соответственно

5–8 и 10–11%. Значительно больше изменчивость в разновозрастных насаждениях. Например, для типа леса ельник сфагновый базисная плотность деревьев колебалась в пределах 350–475 кг/м^3.

Влияние возраста сказывается в повышении плотности древесины у наиболее старых деревьев. У хвойных пород для деревьев одного возраста наблюдается обратная связь между диаметром ствола и плотностью древесины. Плотность древесины стволов зависит от их формы. У сосны, ели, березы с увеличением сбежистости ствола средняя плотность уменьшается. На плотность древесины, по-видимому, оказывает влияние характер развития кроны дерева. У хвойных пород деревья, произрастающие в более густом древостое, имеют более высокую плотность.

В отношении влияния положения дерева в древостое нет единого мнения. Как уже отмечалось, обычно принято различать пять классов роста деревьев (к первому классу относятся наиболее развитые, господствующие экземпляры). Однако для практических целей можно выделять лишь три категории деревьев: крупные (господствующие), средние (согосподствующие) и мелкие (слабо развитые или угнетенные). В таблице 48 представлены данные о зависимости плотности древесины ели от указанных трех категорий [57]. Как видно, наиболее плотная древесина оказалась у менее развитых деревьев. В ряде работ также наблюдалась указанная закономерность, однако в других работах было обнаружено, что хвойные деревья средних классов роста имеют наиболее высокую плотность древесины. У лиственных пород плотность наиболее крупных деревьев выше, чем отставших в росте [56]. С увеличением густоты насаждения средняя плотность древесины, как следует из табл. 48, увеличивается.

48. Влияние категории деревьев и густоты насаждения на плотность древесины ели

Насаждение	Средняя базисная плотность древесины, кг/м^3, по категориям деревьев		
	господствующим	согосподствующим	угнетенным
Редкое	353	370	379
Густое	370	382	390

Широкий комплекс факторов, характеризующих влияние внешней среды, входит в понятие условия произрастания. Эти условия включают качество и состояние почвы, климатические особенности, тип леса, высоту над уровнем моря, географическое положение древостоя и др. Существенную роль играют и условия роста каждого дерева. Проводившиеся исследования были преимущественно направлены на выяснение связей между условиями произрастания и продуктивностью лесных насаждений, выражающейся в объеме выращенной древесины. Более сложно установить влияние многообразных и взаимосвязанных условий произрастания на качество и, в частности, на плотность древесины. Поэтому сте-

пень влияния каждого фактора в отдельности на плотность древесины до конца не выяснена и имеющиеся данные противоречивы. По мнению большинства исследователей у хвойных пород при худших условиях произрастания образуется более плотная древесина. Для лиственных пород (березы, осины) на Северо-Западе европейской части страны наблюдается тенденция к увеличению плотности с улучшением почвенных условий.

Географическое положение насаждения находит отражение в различии почвенных условий, количестве осадков, продолжительности сезона вегетации и т. д., что, в свою очередь, влияет на плотность древесины. Многочисленные данные о плотности чистой древесины из разных районов произрастания сосредоточены в РТМ [27]. В СПбЛТА (О.И. Полубояринов, В.Н. Крылов) проведены обширные исследования плотности древесины как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности.

Лесохозяйственные мероприятия (рубки ухода, осушение, удобрение и т. д.) также оказывают влияние на плотность древесины. Так,по данным Института леса КНЦ РАН и др., при внесении удобрений в почву происходит увеличение прироста древесины, но снижается плотность древесины для сосны примерно на 15 %.

По другим данным у сосны и ели в северной части Европы после внесения удобрений плотность снижается на 5 %. Следует полагать, что и другие лесохозяйственные мероприятия, направленные на получение максимального прироста, будут вызывать некоторое снижение плотности, а также увеличение неоднородности древесины.

Влияние времени рубки на плотность и другие физико-механические свойства древесины экспериментально не было обнаружено. Необходимо иметь лишь в виду, что древесина, срубленная в течение вегетационного периода, имеет тенденцию к снижению стойкости против гниения.

Окорение на корню и подсочка, как следует из довольно противоречивых экспериментальных данных, не оказывает существенного влияния на плотность.

§ 33. Связи между свойствами древесины. Неразрушающие методы контроля прочности древесины

Для определения качества древесины в практике используются описанные в гл.4 §10 показатели макроструктуры древесины: ширина годичных слоев и процент поздней древесины, которые имеют корреляционную связь с плотностью древесины. Наиболее тесная прямая связь, как уже отмечалось, существует между содержанием поздней древесины в годичных слоях и плотностью древесины в целом.

Средняя ширина годичных слоев (или число их в 1 см) также имеет корреляционную, но менее тесную связь с физико-механическими свойствами древесины. Исследования хвойных пород показали, что для

каждой породы существует свой минимум и максимум числа годичных слоев в 1 см, ниже и выше которого физико-механические свойства снижаются. Так, пределы изменения этого показателя у высококачественной древесины сосны и пихты кавказской составляют от 3 до 25, у ели обыкновенной и аянской – до 20, а у лиственницы сибирской – до 30.

В древесине кольцесосудистых лиственных пород (дуб, ясень) ширина годичных слоев увеличивается за счет большего развития поздней древесины; отсюда ясно, что физико-механические свойства древесины этих пород должны возрастать с увеличением средней ширины годичных слоев. Наиболее высокое качество древесины наблюдается, если число годичных слоев в 1 см у дуба не больше 12, у ясеня обыкновенного не больше 9, у ясеня маньчжурского не больше 10. У рассеяннососудистых лиственных пород не обнаруживается четко выраженной связи между шириной годичных слоев и свойствами древесины.

Связь между плотностью и прочностью, вообще говоря, описывается степенной функцией. Однако в большинстве случаев, не допуская больших погрешностей, можно пользоваться корреляционными уравнениями прямой линии [56], которые, например для древесины сосны (при 15% влажности) с территории России (не считая Юга), имеют следующий вид:

$$\sigma_{сж} = 0{,}11\rho_{15} - 10{,}5; \qquad (119)$$

$$\sigma_{изг} = 0{,}2\rho_{15} - 19{,}5, \qquad (120)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа;

$\sigma_{изг}$ – предел прочности при статическом изгибе, МПа.

В указанных уравнениях показатели и коэффициенты имеют размерности в ранее использовавшейся технической системе единиц.

Существует тесная связь между отдельными механическими свойствами, например прочностью при сжатии вдоль волокон и прочностью при статическом изгибе. В свою очередь, прочность при сжатии вдоль волокон довольно тесно связана с твердостью торцовой поверхности. Между ударной твердостью и износостойкостью также наблюдается прямая связь. наличие связей между различными механическими свойствами позволяет при контрольных испытаниях ограничиваться лишь определением плотности и прочности при сжатии вдоль волокон, а в случае необходимости, кроме того, определять предел прочности при статическом изгибе, при скалывании вдоль волокон и ударную вязкость древесины.

Во всех отраслях техники развиваются неразрушающие испытания материалов. Особенно велико значение этой проблемы для древесины – материала с большой изменчивостью свойств, поскольку при неразрушающих испытаниях можно осуществить сплошной поштучный контроль пиломатериалов. Определить прочность древесины по косвенным признакам, не подвергая ее разрушению, можно, используя показатели ее макро-

структуры, а также плотность. Наиболее тесную связь с пределами прочности при основных видах действия сил имеет плотность. Однако плотность может служить достаточно надежным признаком прочности для древесины без пороков. Такие пороки, как трещины, сучки и др., существенно снижая прочность древесины, вовсе не влияют на плотность, а некоторые даже увеличивают ее. Поэтому более надежны неразрушающие испытания, основанные на связи пределов прочности с показателями жесткости древесины (модулями упругости при статических или динамических нагрузках). Динамический модуль упругости удобно определять при ультразвуковых испытаниях. По скорости распространения ультразвуковых импульсов в древесине также можно оценить ее прочность.

Работы по созданию эффективных методов неразрушающих испытаний проводятся применительно к сортировке пиломатериалов по прочности. Разработаны машины, через которые пропускают контролируемые доски на лесопильных заводах. Доски подвергаются изгибу, это дает возможность непрерывно измерять модуль упругости, который связан с пределом прочности соответствующим корреляционным уравнением. В справочнике [9] приведены разработанные ЦНИИМОД уравнения регрессии, позволяющие получить пределы прочности пиломатериалов по модулям упругости при изгибе досок на пласть и кромку. Эти уравнения даны для основных пород и сечений досок, выпиленных из древесины разных районов насаждений. Применение сортировки конструкционных пиломатериалов и заготовок по прочности позволяет сократить неоправданную отбраковку или перевод в низкие сорта значительной части материала.

§ 34. Изменение свойств древесины под воздействием физических и химических факторов

Влияние сушки. В процессе сушки происходит воздействие на сырую древесину пара, нагретого сухого или влажного воздуха, токов высокой частоты и других факторов, приводящих в конечном результате к снижению содержания свободной и связанной воды.

Правильно, при соответствующих режимах, проведенная камерная сушка древесины дает материал, вполне равноценный получаемому в результате атмосферной сушки. Но если высушивать древесину в камерах слишком быстро и при высокой температуре, то это не только может привести к растрескиванию и значительным остаточным напряжениям, но и оказать влияние на механические свойства древесины.

Согласно данным ЦНИИМОДа (Н.Л. Леонтьев, И.В. Кречетов и др.) при высокотемпературной сушке с конечной температурой в камере 105–110 °С продолжительность сушки сокращается в 1,5–2 раза, но прочность древесины сосны (в досках толщиной 30–60 мм) снижается: при сжатии вдоль волокон на 0,8–8,7 %, радиальном скалывании на 1–12 % и ударная вязкость на 5–10,5 %.

Влияние высокотемпературной сушки в перегретом паре и расплавленном петролатуме изучалось многими исследователями. Несмотря на противоречивость выводов, вызванную разным подходом к истолкованию результатов исследований, эти работы также показали, что высокотемпературная сушка приводит к снижению механических свойств древесины. В меньшей степени снижается прочность при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, в большей мере – при тангенциальном скалывании и весьма существенно уменьшается ударная вязкость древесины.

Резко сокращается продолжительность сушки древесины при использовании электромагнитных колебаний СВЧ. Особенности этого процесса сушки рассмотрены в работах Г.И. Торговникова и В.П. Галкина (МГУЛ) и др.

Влияние повышенных температур. Повышение температуры вызывает снижение показателей прочности и других физико-механических свойств древесины. При сравнительно непродолжительных воздействиях температуры до 100 °С эти изменения, в основном, обратимы, т. е. они исчезают при возвращении к начальной температуре древесины.

Влияние температуры при разной влажности древесины сосны на ее прочность при сжатии характеризуют данные Н.Л. Леонтьева (ЦНИИМОД), приведенные в табл. 49.

49. Влияние температуры и влажности на прочность древесины сосны при сжатии вдоль и поперек волокон

Показатели свойств	Температура, °С	Влажность древесины, %				
		0	15	30	50	100
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	20	74,0	35,4	20,1	20,0	20,0
	50	73,2	23,9	12,5	12,7	12,0
	100	64,4	11,4	6,3	6,0	7,3
Условный предел прочности при сжатии поперек волокон, МПа	20	3,7* / 7,7	2,3 / 4,1	1,5 / 2,2	1,3 / 2,1	1,2 / 2,0
	50	2,5 / 5,4	1,7 / 2,8	1,2 / 1,3	1,3 / 1,4	1,1 / 1,4
	100	2,3 / 5,0	1,5 / 1,7	0,8 / 0,8	0,6 / 0,7	0,6 / 0,7

*В числителе приведены данные для радиального сжатия, в знаменателе – для тангенциального.

Эти данные показывают, что прочность при сжатии вдоль и поперек волокон понижается как с повышением температуры, так и с повышением влажности древесины. Одновременное действие обоих факторов синергетичекое влияние, т.е. вызывает большее снижение прочности по сравнению с суммарным эффектом от их изолированного воздействия. Влияние влажности наблюдается до предела насыщения клеточных стенок, дальнейшее увеличение влажности практически не отражается на прочности, хотя ряд исследователей отмечали ее снижение (на 10–15 %) и в этом диа-

пазоне изменения влажности. Проведенные в МЛТИ [71] широкие исследования прочности древесины при растяжении поперек волокон также подтвердили закономерности, отмеченные выше для сжатия. В табл. 50 показано влияние температуры и влажности древесины на ее прочность при растяжении поперек волокон в условиях медленного нагружения (реологические испытания).

50. Влияние температуры и влажности на прочность древесины при растяжении поперек волокон в тангенциальном направлении

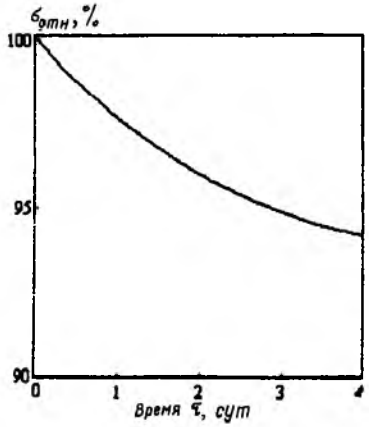
Порода	Предел прочности, МПа, при температуре, °С											
	20					60			95			
	и влажности, %											
	10	11	12	13	$>W_{п.н}$	10	15	$>W_{п.н}$	9	10	15	$>W_{п.н}$
Лиственница	4,9	–	–	–	2,0	3,6	3,2	1,1	–	2,7	–	–
Дуб	–	–	5,9	–	2,7	5,2	4,1	1,9	–	2,7	–	0,8
Бук	–	–	–	6,8	2,0	5,2	3,7	1,1	3,3	–	1,1	0,4
Береза	–	6,3	–	–	1,3	4,4	–	0,6	–	3,4	–	0,4

При достаточно длительном воздействии повышенной температуры (более 50 °С) в древесине происходят необратимые остаточные изменения, которые зависят не только от уровня температуры, но и от влажности.

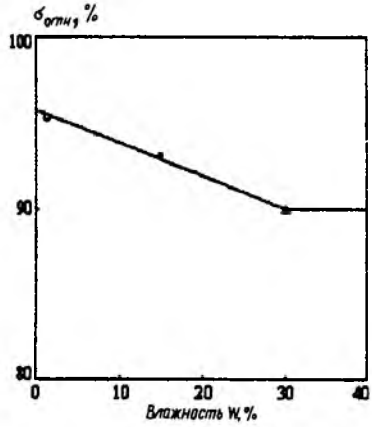
Первые исследования Н.Н. Чулицкого [по 56], проведенные на древесине сосны, ясеня и дуба в абсолютно сухом состоянии, показали, что под действием температуры 80–100 °С в течение 16 сут. предел прочности при сжатии вдоль волокон снижается на 5–10 %, а ударная вязкость – на 15–30 % (наибольшее снижение обнаружилось для дуба, наименьшее – для сосны). Снижение происходит главным образом в течение первых 2–4 сут. Позднее исследования К.Ф. Дьяконова (ЦНИИМОД) последствий воздействия высоких температур в диапазоне 80 – 140 °С на механические свойства древесины сосны, лиственницы, березы показали, что механические свойства снижаются с увеличением температуры, продолжительности ее воздействия и влажности древесины.

В последнее время Н.В. Скуратов (МГУЛ), используя результаты исследований Н.Н. Чулицкого, К.Ф. Дьяконова, Дж. Маклина установил некоторые общие закономерности влияния каждого из указанных факторов на эксплуатационную прочность древесины сосны и ели при статическом изгибе. На рис. 79. показан характер этих закономерностей.

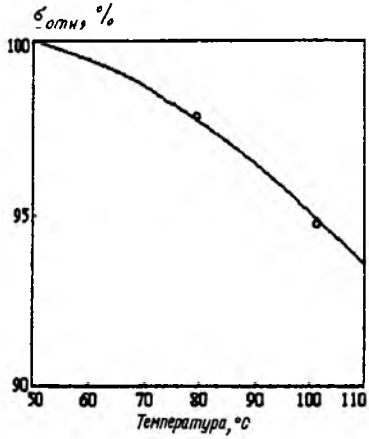
Ударная вязкость древесины с низкой влажностью уменьшается с повышением температуры, а при высокой влажности, наоборот, увеличивается (испытывалась древесина в нагретом состоянии).



а



б



в

Рис. 79. Остаточное влияние температуры на относительную прочность древесины сосны и ели при изгибе в зависимости от продолжительности воздействия (*а*), уровня влажности (*б*) и температуры (*в*):

а – ель при $W > 30$ %; $t = 93$ °С;

б – ель при $t = 100$ °С; $\tau = 4$ сут;

в – сосна, при $W = 2$–3 %; $\tau = 4$ сут

Нагреванием древесины можно достичь известного снижения гигроскопичности и способности к последующему разбуханию и усушке. Однако такая обработка неизбежно связана со снижением прочности и особенно – ударной вязкости. Повышение формостабильности древесины и снижение прочности тем больше, чем выше температура и продолжительность нагрева.

Воздействие высоких температур приводит к тому, что древесина становится хрупкой. Более сильное снижение ударной вязкости при нагреве древесины лиственных пород некоторые исследователи связывают с повышенным (в 2–3 раза) содержанием пентозан, которые весьма чувствительны к воздействию высоких температур.

Воздействие повышенной температуры происходит в операциях пропаривания или проваривания в воде. Они предпринимаются для увели-

чения податливости древесины при гнутье, прессовании и т.д. Однако при этом происходит снижение прочности древесины, тем большее, чем выше температура и продолжительнее ее воздействие. Имеются данные [66] о том, что пропаривание древесины хвойных пород снижает прочность при изгибе примерно на 10–20 % больше, чем проваривание.

Влияние низких температур. Проведенные А.А. Солнцевым [по 56] испытания увлажненной до насыщения и затем замороженной древесины сосны, дуба и березы показали, что ее прочность больше при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в среднем на 35 %, при скалывании и раскалывании на 75 %; в то же время ударная вязкость понизилась для замороженной древесины сосны почти вдвое, а для дуба – на 9 %.

Влияние температур в пределах ее изменения от +100 до –80 °С на прочность при сжатии вдоль волокон древесины сосны в абсолютно сухом и насыщенном водой состоянии показано на рис. 80; для области положительных температур использованы данные Ф.П. Белянкина, а для отрицательных температур – данные М.Д. Бойко (за 100 % принята прочность при влажности 0 % и температуре 0 °С).

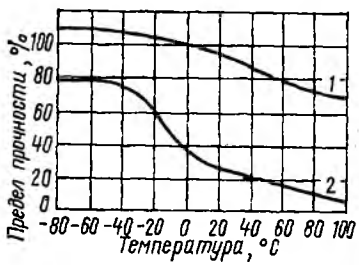


Рис. 80. Влияние температуры на прочность при сжатии вдоль волокон древесины сосны с разной влажностью:
1 – в абсолютно сухом состоянии; *2* – в насыщенном состоянии

Характер влияния положительных температур одинаков для абсолютно сухой и мокрой древесины. В то же время при отрицательных температурах прочность абсолютно сухой древесины плавно увеличивается, а мокрой древесины резко возрастает с понижением температуры до –25 ... –30 °С, после чего повышение прочности замедляется. При указанных температурах образуется столько ледяных включений, что они обеспечивают достаточную устойчивость стенок клеток. Модули упругости древесины при ее замораживании возрастают.

Влияние ионизирующих излучений. Гамма-облучение, по данным А.С. Фрейдина, оказывает наименьшее влияние на сопротивление древесины сжатию. Значительно больше снижается прочность на скалывание и еще сильнее падает сопротивление статическому изгибу. Для двух последних видов испытаний древесины сосны резкое снижение прочности (на 20 – 24 %) наблюдается уже при дозе 50 Мрад*. При дозе облучения в

* Рад – единица измерения поглощенной дозы излучения; 1 Мрад (мегарад) = 10 кДж/кг.

100 Мрад прочность снижается вдвое. Прочность при статическом изгибе после дозы облучения в 500 Мрад составляет немногим более 10 %. Прочность на сжатие вдоль волокон при такой дозе снижается примерно на 30 %, а доза облучения 100 Мрад практически не оказывает влияния на прочность. Наиболее сильно влияет облучение на ударную вязкость древесины. У древесины сосны после облучения дозой в 50 Мрад ударная вязкость снизилась более чем в два раза.

Наиболее легко разлагаются гемицеллюлозы (в первую очередь пентозаны), более радиационно стойким веществом является целлюлоза. Однако устойчивость лигнина еще выше; он защищает полисахариды от радиолиза. Поскольку лигнин лучше, чем целлюлоза сопротивляется сжимающим нагрузкам, облучение меньше снижает прочность древесины именно при сжатии вдоль волокон.

При использовании радиоактивных изотопов для контроля технологических процессов обработки древесины доза облучения в миллионы раз меньше той, которая приводит к заметному снижению прочности. Лучевая стерилизации древесины (смертельной дозой для грибов и насекомых является примерно 1 Мрад) также практически не снижает ее механические свойства.

Влияние кислот и щелочей. Воздействие на комнатно сухую древесину в малых образцах серной, соляной и азотной кислоты концентрацией 10 % при температуре 15–20 °С приводит к снижению прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе, ударной вязкости и твердости в среднем на 48 % для ядра лиственницы и сосны и на 53–54 % для ели (спелая древесина), бука и березы.

При воздействии на древесину в течение четырех недель щелочей были получены следующие данные: 2%-ный раствор аммиака почти не оказал влияния на прочность при статическом изгибе лиственницы, сосны, ели, но прочность дуба и бука снизилась на 34 %, а липы – почти вдвое; 10%-ный раствор аммиака снизил прочность лиственницы на 8 %, сосны и ели – на 23 %, а лиственных пород – почти втрое. Едкий натрий оказывает более сильное влияние.

Таким образом прочность древесины лиственных пород снижается под влиянием кислот и щелочей в значительно большей степени, чем хвойных.

Газы SO_2, SO_3, NO, NO_2 при длительном воздействии на древесину изменяют цвет и постепенно разрушают ее. При увлажнении древесины разрушение происходит интенсивнее. Смолистость уменьшает вредное влияние газов, а синева способствует разрушению древесины.

Влияние речной и морской воды. Испытания топляковой древесины из бревен сосны, ели, березы и осины показали [по 56], что после пребывания в речной воде 10–30 лет прочность древесины практически не изменилась. Однако более длительное пребывание в воде вызывает снижение

прочности наружных слоев древесины (толщиной 10–15 мм). В то же время в более глубоких слоях прочность древесины оказалась не ниже норм, допускаемых для здоровой древесины. Пребывание в воде на протяжении нескольких сотен лет в сильной мере изменяет древесину. В зависимости от времени нахождения под водой цвет древесины дуба меняется от светло-коричневого до угольно-черного вследствие соединения дубильных веществ с солями железа. Древесина, образующегося таким образом "мореного" дуба, пластичная в насыщенном водой состоянии, становится хрупкой после высушивания, усушка ее в 1,5 раза больше, чем обычной древесины; при сушке склонна к растрескиванию; прочность при сжатии, статическом изгибе и твердость снижаются примерно в 1,5 раза, а ударная вязкость – в 2–2,5 раза. Эти выводы были, в основном, подтверждены результатами последних исследований МГУЛ (совместно с Я.Н Станко, Л.В Поповкиной) топляковой древесины при сравнительно кратковременном (15–20 лет) пребывании в воде (лиственница и береза) и длительном – до 1000 лет (дуб). "Возраст" мореного дуба определяют по повышению зольности древесины или радиоуглеродным анализом. Точно определить как изменяются показатели свойств древесины из-за пребывания в воде нельзя, т. к. неизвестны свойства древесины до затопления. Для установления возможности использования топляковой древесины проводят ее испытания и определяют степень отклонения полученных данных от справочных для соответствующей породы.

Исследования В.Н Быковского показали, что прочность заболонной древесины сосны после пребывания в течение года в растворе морских солей снизилась: при сжатии вдоль волокон на 15 %, растяжении вдоль волокон на 10 %, скалывании на 5 %, а ударная вязкость на 26 %. Механические свойства ядровой древесины после пребывания в растворе солей не изменились.

У древесины отрезков сосновых свай, взятых из сооружений морских портов в Баку и Махачкале и прослуживших в воде около 30 лет, показатели механических свойств оказались существенно снижены по сравнению с нормальной древесиной. Хотя такое сопоставление условно, в работе С.И. Ванина [16] отмечено снижение прочности при растяжении вдоль волокон на 40–60 %, при статическом изгибе на 60–70 %. Можно, таким образом, заключить, что морская вода через сравнительно короткое время оказывает заметное влияние на прочность и ударную вязкость древесины.

ГЛАВА 7. ПОРОКИ ДРЕВЕСИНЫ

Изменения внешнего вида древесины, нарушения правильности строения, целостности ее тканей и другие недостатки, снижающие ее качество и ограничивающие возможности практического использования, называются п о р о к а м и д р е в е с и н ы .

Значение порока зависит от области применения древесины, а также от уровня науки и техники в данный период. Это находит отражение в содержании стандартов на пороки древесины. После разработки первого стандарта в 1931 г. он пересматривался в 1934, 1943, 1961, 1971 и в 1981 гг. Изменения в стандартах сводились главным образом к уменьшению числа пороков, а также к уточнению и унификации наименований.

Следует подчеркнуть, что ГОСТ на пороки древесины – один из важнейших документов, широко используемый в практике. На основании этого ГОСТа сформированы требования к качеству сырья и изделий, отраженные в многочисленных стандартах и технических условиях на отдельные виды продукции лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Важную роль играет стандартизация пороков древесины и в международной торговле лесными товарами. Поэтому уже в ГОСТ 2140-71, разработанном ЦНИИМОДом (С.Н. Горшин, И.К. Черкасов) и ЦНИИМЭ (Н.Л. Леонтьев и М.В. Акиндинов), были учтены рекомендации по стандартизации ИСО (Международной организации по стандартизации) и других организаций.

В действующем с 1982 г. ГОСТ 2140-81 "Видимые пороки древесины" были полностью учтены соответствующие стандарты ИСО. Позднее, в 1988 – 89 гг. появились стандарты ИСО на видимые пороки пиловочных бревен. В разработанных Европейским комитетом по стандартизации (СЕН), начиная с 1995 г., Европейских стандартах ЕН 844-1...12 на круглые и пиленые лесоматериалы также содержатся сведения о пороках древесины. В русской версии этих стандартов и разработанном на их основе Центром "Лесэксперт" ОАО "ЦНИИМЭ" (А.К. Курицын) проекте терминологического стандарта ИСО, а также проектах национальных стандартов РФ на круглые лесоматериалы и пиломатериалы использованы некоторые термины, определения и способы измерения пороков, принятые в международной торговле, но отличающиеся от традиционных, отечественных. Поэтому при толковании понятий о пороках древесины, содержащихся в получившей распространение справочной литературе [29, 63, 64] следует руководствоваться сведениями, которые приводятся ниже применительно к ГОСТ 2140-81, который пока имеет статус «национального стандарта».

Этот стандарт охватывает широкую номенклатуру пороков, которые разделены на девять групп: 1 – сучки, 2 – трещины, 3 – пороки формы ствола, 4 – пороки строения древесины, 5 – химические окраски, 6 – грибные поражения, 7 – биологические повреждения, 8 – инородные включения, механические повреждения и пороки обработки, 9 – покоробленности.

В каждую группу входит несколько видов пороков, для некоторых пороков указаны их разновидности. Часть пороков характерна только для круглых лесоматериалов (бревна и др.), другие пороки свойственны только пилопродукции (доски, брусья, заготовки) или шпону. Есть пороки, встречающиеся у двух или всех трех групп сортиментов.

§ 35. Сучки

Наиболее распространенный порок – сучки представляют собой основания ветвей, заключенные в древесине сортимента.

По степени зарастания сучки различают только в круглых лесоматериалах, выделяя две разновидности: о т к р ы т ы е, т. е. выходящие на боковую поверхность сортимента, и з а р о с ш и е, обнаруживаемые по вздутиям и другим следам зарастания на боковой поверхности.

По форме разреза сучки (в пилопродукции и шпоне) делятся на круглые, овальные и продолговатые. К р у г л ы й сучок образуется в том случае, если основание ветви разрезается под большим углом к продольной оси так, что отношение большего диаметра сучка к меньшему не превышает 2* (рис. 81,а). Круглый сучок может быть обнаружен на тангенциальной поверхности сортимента. О в а л ь н ы й сучок образуется в том случае, когда основание ветви разрезается под углом к ее продольной оси так, что отношение большего диаметра сучка к меньшему находится в пределах 2–4 (рис. 81,б).

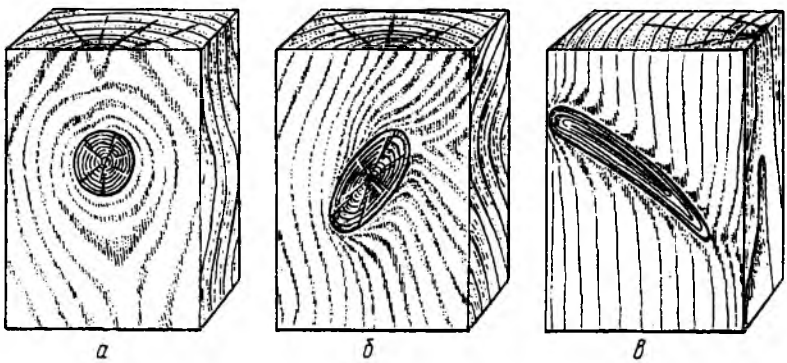


Рис. 81. Сучки различной формы:
а – круглый; *б* – овальный; *в* – продолговатый

П р о д о л г о в а т ы й сучок образуется при разрезании основания ветви вдоль или под малым углом к ее оси так, что отношение большего диаметра к меньшему превышает 4 (рис. 81,в). Продолговатый сучок в виде суживающейся к сердцевине полосы или сильно вытянутого овала может быть обнаружен на радиальном или близком к нему разрезе.

По положению в пиленом сортименте различают сучки пластевые, кромочные, ребровые, торцовые и сшивные. П л а с т е в ы е сучки выходят на широкую сторону (пласть), к р о м о ч н ы е – на узкую (кромку), р е б -

* По стандарту EN 844-1 это отношение должно быть не менее 1,5.

ровые – одновременно на смежные пласть и кромку, торцовые – на короткую сторону (торец) сортимента.

Если сучок пронизывает всю пласть или кромку и выходит на два ребра, его называют сшивным (рис. 82,а). Кроме того, в пилопродукции выделяют сучки: односторонние, выходящие на одну или две смежные стороны сортимента и сквозные, выходящие на две противоположные стороны сортимента.

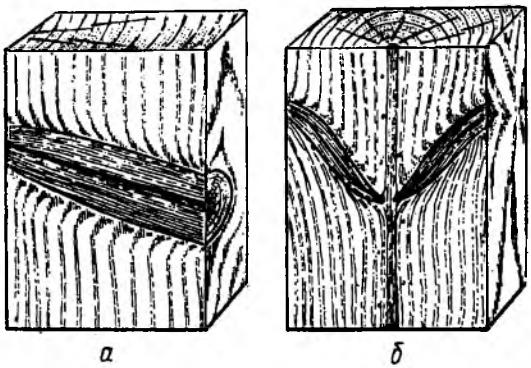


Рис. 82. Сучки: *а* – сшивной; *б* – разветвленный

По взаимному расположению в пиленом сортименте различают разбросанные, групповые и разветвленные сучки. Разбросанными называются любые одиночные сучки, отстоящие друг от друга по длине сортимента на расстоянии большем, чем его ширина. У широких сортиментов (шириной более 150 мм) расстояние между сучками должно быть не менее 150 мм. Групповыми называются два или более круглых, овальных или ребровых сучка, расположенных на отрезке длины сортимента, равном его ширине. У широких сортиментов этот отрезок должен быть равен 150 мм.

При мутовчатом расположении ветвей, особенно характерном для сосны и лиственницы, образуются разветвленные (старое название – лапчатые) сучки. Они обнаруживаются на радиальных или близких к ним разрезах и включают два продолговатых сучка одной мутовки (рис. 82,б) или один продолговатый в сочетании с овальным или ребровым сучком одной мутовки (между ними может быть и третий – круглый или овальный сучок).

По степени срастания с окружающей древесиной в пилопродукции и шпоне различают три разновидности сучков. Сросшимися, частично сросшимися и несросшимися называют сучки, у которых годичные слои не срослись с окружающей древесиной на протяжении соответственно: менее 1/4; более 1/4, но менее 3/4; более 3/4 периметра разреза сучка. Среди несросшихся сучков выделяют выпадающие (рис. 83).

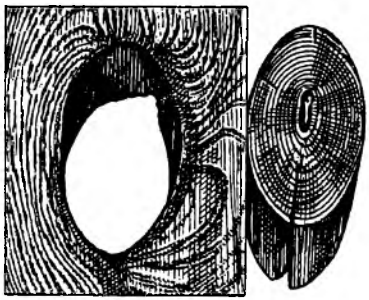


Рис. 83. Выпадающий сучок

По состоянию древесины сучки во всех видах лесоматериалов делятся на здоровые, загнившие, гнилые и табачные. Здоровыми называются сучки, у которых древесина не имеет признаков гнили. Среди этой разновидности сучков в пилопродукции и шпоне выделяют: светлые, окрашенные слегка темнее окружающей древесины; темные, древесина которых пропитана смолой, дубильными и ядровыми веществами и поэтому значительно темнее окружающей древесины; здоровые сучки с трещинами.

При загнивании древесина сучка изменяет окраску, а в дальнейшем сильно размягчается и утрачивает нормальную структуру. Загнившими и гнилыми называются сучки, у которых зона гнили занимает соответственно менее или более 1/3 площади разреза. Табачными называются сучки, древесина которых полностью или частично превратилась в рыхлую массу ржаво-бурого (табачного) или белесого цвета, легко растирающуюся в порошок.

Характеристика сортиментов по сучковатости включает в себя указание разновидностей, размера и количества сучков.

В круглых лесоматериалах при установлении разновидностей открытых сучков по состоянию древесины иногда трудно отличить табачные сучки от других пораженных гнилью сучков. В этом случае применяют зондирование щупом. Если зона разрушения распространяется на глубину не более 3 см, такие сучки, в зависимости от площади поражения относят к загнившим или гнилым; если же зона разрушения распространяется на большую глубину (часто до сердцевины), то это табачные сучки.

Открытые сучки измеряют по их наименьшему диаметру (рис. 84,а), при этом присучковый наплыв в размер сучка не включают. Заросшие сучки оценивают по высоте прикрывающих их вздутий над боковой поверхностью сортиментов. У лиственных лесоматериалов диаметр заросшего сучка можно определить по размеру раневого пятна или усам бровки. Хорошо заметное на гладкой коре некоторых пород (березы, бука, граба, осины) образование – бровка – в виде двух направленных под углом темных полосок – усов возникает от давления разрастающейся ветви на древесину ствола. После отмирания и опадения ветви на месте заросшего сучка возникает раневое пятно, чаще всего правильной эллипсовидной формы (рис. 84,б).

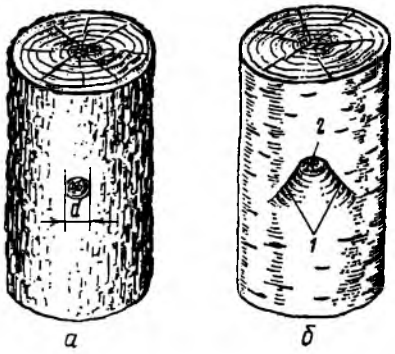


Рис. 84. Измерение сучков в круглых лесоматериалах:
а – открытых сучков; *б* – заросших сучков: *1* – по бровке; *2* – по раневому пятну

Размер наиболее толстой части заросшего сучка в сортиментах из березы, бука, липы, ольхи и ясеня равен 0,9, из осины – 0,6 максимального диаметра раневого пятна. В некоторых круглых сортиментах, например в фанерных кряжах, важно знать глубину залегания заросших сучков. Это позволяет установить величину бессучковой зоны, из которой может быть получен шпон высокого качества. Глубина залегания сучков в сортиментах из указанных пород может быть определена по соотношению между высотой и шириной раневого пятна и диаметру сортимента в месте зарастания сучка. С уменьшением этого отношения при данном диаметре сортимента глубина залегания вершины заросшего сучка увеличивается. При постоянном соотношении размеров раневого пятна залегание сучка тем глубже, чем больше диаметр сортимента. Таблицы для определения глубины залегания заросших сучков приведены в ГОСТ 2140-81.

В сортиментах из березы глубину залегания сучка можно определить также по величине угла между усами бровки. Заросший сучок при постоянном диаметре сортимента расположен тем глубже, чем больше угол между усами. При одной и той же величине угла между усами глубина залегания больше у сортиментов большего диаметра. По длине уса можно ориентировочно судить о размере заросшего сучка. Длина уса, измеренная в сантиметрах, примерно соответствует размеру сучка в миллиметрах.

В пилопродукции и строганом шпоне размеры сучков определяют одним из двух способов: 1) по расстоянию между двумя касательными к контуру сучка, проведенными параллельно продольной оси сортимента; 2) по наименьшему диаметру сечения сучка. Круглые, овальные и продолговатые (или разветвленные) не выходящие на ребро сучки измеряют, как показано на рис. 85, первым (размеры a_1; a_2; a_3) или вторым (размеры b_1; b_2; b_3) способом*. Сшивные и выходящие на ребро продолговатые (или разветвленные) сучки измеряют в пилопродукции первым способом на той стороне сортимента, на которую выходит поперечное сечение сучка (размер a_4) или вторым способом по продольному

* Согласно стандарта EN 1310 основной метод – определение размера сучка как полусуммы большей и меньшей оси его сечения.

сечению (размер b_4). В отдельных случаях допускается измерять сучки двух последних разновидностей на продольном разрезе и первым способом (размер a_5). Выходящие на ребро продолговатые и разветвленные сучки измеряют первым способом (размер a_5) и вторым способом (размер b_4). Ребровые сучки измеряют первым способом (размеры a_6 и a_7) и вторым способом по протяженности сучка на ребре (размер b_6). Размер разветвленных сучков допускается определять как сумму размеров составляющих сучков. Таким же образом определяют размеры и групповых сучков.

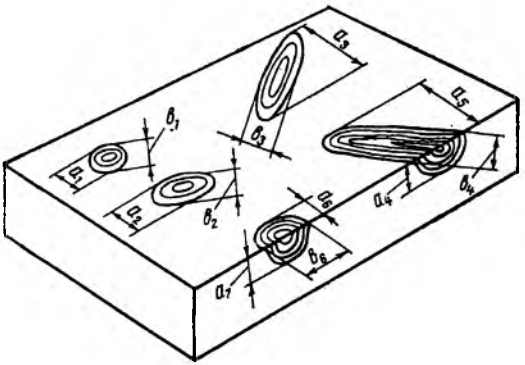


Рис. 85. Измерение сучков в пилопродукции и строганом шпоне

В лущеном шпоне все сучки измеряют по наибольшему диаметру их сечения. Размеры сучков выражают в миллиметрах или в долях размера сортимента и подсчитывают их количество в круглых лесоматериалах и пилопродукции – на 1 м или всю длину сортимента, в шпоне – на 1 м^2 или всю площадь листа.

Количество, размеры и расположение сучков зависят от породы дерева, условий его роста и зоны ствола. Стволы теневыносливой породы – ели имеют больше сучков, чем стволы сосны; деревья, выросшие в сомкнутых древостоях, очищаются от сучков раньше и выше, чем дерево, выросшее на свободе; комлевая часть ствола имеет меньшую сучковатость, чем вершинная. Размеры одних и тех же сучков и состояние их древесины изменяются по радиусу ствола. По мере продвижения от коры в глубь ствола и к сердцевине размеры сучков уменьшаются, несросшиеся сучки переходят в сросшиеся, уменьшается количество загнивших и гнилых сучков.

При использовании древесины сучки в большинстве случаев оказывают отрицательное влияние. Они обычно ухудшают внешний вид древесины, нарушают ее однородность и вызывают искривление волокон и годичных слоев, что приводит к снижению показателей многих механических свойств древесины. Вследствие большей твердости по сравнению с окружающей древесиной здоровые и особенно темные (роговые) сучки затрудняют обработку древесины режущими инструментами. Табачные сучки в круглых сортиментах сопровождаются скрытой ядровой гнилью. Сте-

пень влияния сучка на механические свойства зависит от его относительных размеров, разновидности и характера напряженного состояния нагруженной детали изделия или конструкции. Наименьшее отрицательное влияние оказывают здоровые, круглые, вполне сросшиеся сучки, а наибольшее – сшивные и групповые. Особенно сильно снижается прочность древесины при растяжении вдоль волокон, меньше всего – при сжатии вдоль волокон. При изгибе степень влияния существенно зависит от положения сучка по длине и высоте детали. Наибольшее отрицательное влияние оказывают сучки, расположенные в растянутой зоне опасного сечения изгибаемой детали, особенно, если сучок выходит на кромку.

По данным Н.Л. Леонтьева (ЦНИИМОД) для заготовок из древесины сосны наблюдается близкая к пропорциональной зависимость между относительным размером сучка (в долях ширины или толщины заготовки) и прочностью при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон (в % от прочности чистой древесины). Следовательно, при размере сучка 0,3 и 0,5 прочность снизится соответственно на 30 и 50 %. Аналогичная зависимость была обнаружена А.Л. Михайличенко при изгибе древесины березы и бука. У древесины дуба влияние размера сучков на прочность выражено слабее.

Сучки увеличивают прочность при сжатии и растяжении древесины в радиальном направлении поперек волокон, когда ось сучка совпадает с направлением усилия. Сучки повышают прочность и при скалывании вдоль волокон в тангенциальном направлении, когда они расположены перпендикулярно плоскости скалывания.

В отверстия, остающиеся после выпавших сучков при необходимости вставляют деревянные пробки (на клее или без него). Иногда специально высверливают сучки, и отверстия также заделывают пробками. Однако прочность древесины при этом не повышается, так как искривления волокон вокруг пробок по-прежнему остаются.

Модули упругости с увеличением размера сучков при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе снижаются, а при растяжении и сжатии поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях – сильно возрастают в связи с большей жесткостью древесины самих сучков.

В.П. Левченко (УСХА) исследовал влияние сучков на прочность сосновых круглых лесоматериалов при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе и показал, что снижение этих свойств меньше, чем у пиломатериалов. На модуль упругости сучки в круглых лесоматериалах, так же как и в пиломатериалах, влияют меньше, чем на прочность.

§ 36. Трещины

Трещины представляют собой продольные разрывы древесины, образующиеся под действием внутренних напряжений, достигающих предела прочности древесины на растяжение поперек волокон.

По типу трещины в круглых лесоматериалах и пилопродукции делятся на метиковые, отлупные и морозные, появляющиеся в растущем дереве, и трещины усушки, возникающие в срубленной древесине. Метиковые трещины представляют собой одну или несколько внутренних радиальных трещин, возникающих в стволах деревьев всех пород, особенно часто у сосны, лиственницы, бука преимущественно в перестойных древостоях. Трещина начинается от комля, идет вверх по стволу и иногда доходит до зоны живой кроны. Протяженность ее по стволу достигает 10 м и более. В круглых лесоматериалах метиковые трещины наблюдаются только на торцах (лучше на комлевых), так как, начинаясь от сердцевины, они до коры не доходят и на боковой поверхности не видны. В пиломатериалах они обнаруживаются как на торцах, так и на боковых поверхностях. В зависимости от расположения в круглых сортиментах различают простые и сложные метиковые трещины. Простой метиковой трещиной называется трещина (или две трещины, направленные по одному диаметру торца), расположенная в одной плоскости по длине сортимента (рис. 86,а). Сложной называются две или несколько трещин, направленных на торце под углом друг к другу, а также одна или две трещины, направленные по одному диаметру, но из-за спирального расположения волокон (порок – "наклон волокон" см. ниже), находящиеся не в одной плоскости (рис. 86,б,в). Метиковые трещины возникают в процессе роста дерева. Существует мнение, что трещины образуются и при валке дерева от ударов о землю. При высыхании древесины размеры трещины увеличиваются. Метиковые трещины представляют собой прерывистые разрывы по длине сортимента.

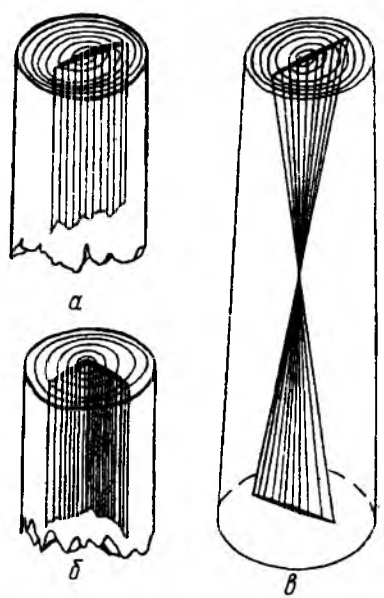


Рис. 86. Схема расположения метиковых трещин в круглых лесоматериалах: *а* – простая метиковая трещина; *б* и *в* – сложные метиковые трещины

Отлупные трещины – это отслоения (по годичному слою) древесины внутри ядра или спелой древесины стволов растущих деревьев всех пород. Отлуп можно обнаружить в круглых лесоматериалах только на торцах в виде дугообразных (не заполненных смолой) или кольцевых трещин (рис. 87,а,б), в пиломатериалах – на торцах в виде трещин-луночек, а на боковых поверхностях в виде продольных трещин или желобчатых углублений (рис. 87,в).

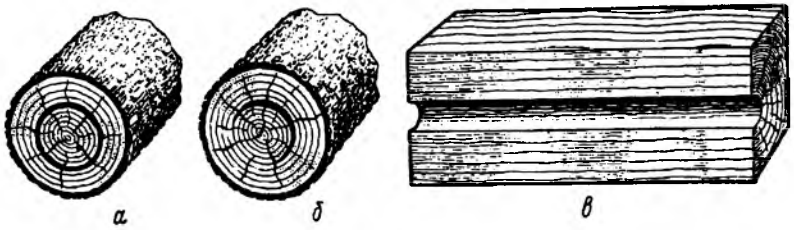
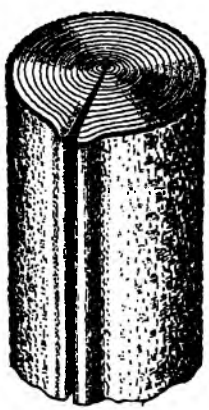


Рис. 87. Схема расположения отлупных трещин:
а и *б* – в круглых сортиментах; *в* – в пиломатериалах

До сих пор причина появления отлупных трещин точно не установлена. Они наблюдаются в местах резкого перехода мелкослойной древесины в крупнослойную. Возникновение отлупа может быть связано [15] с образованием внутренней гнили, а у осины и других лиственных – водослоя (см. ниже).

Рис. 88. Морозная трещина



Морозные трещины представляют собой наружные продольные разрывы древесины стволов растущих деревьев лиственных (реже хвойных) пород; распространяются в глубь ствола по радиальным направлениям (рис. 88). Морозные трещины образуются при резком снижении температуры зимой. На них похожи старые трещины, возникшие от удара молний. На поверхности ствола этот порок имеет вид длинной открытой трещины, часто с валиками или гребнями разросшейся древесины и коры по краям. Морозные трещины обычно располагаются в комлевой части ствола.

В круглых лесоматериалах морозные трещины хорошо заметны на боковой поверхности и торцах; снаружи они имеют наибольшую ширину, уходят в глубь древесины (часто до сердцевины), постепенно суживаясь. В

пиломатериалах обнаруживаются в виде длинных радиальных трещин с уширенными около них годичными слоями. Стенки трещин темные или засмоленные (у хвойных пород).

Трещины усушки возникают в лесоматериалах под действием сушильных напряжений. Трещины распространяются от боковой поверхности в глубь сортимента по радиальным направлениям. От метиковых и морозных трещин отличаются меньшим протяжением по длине сортимента (обычно не более 1 м) и меньшей глубиной. Трещины появляются на торцах круглых сортиментов и пиломатериалов из-за неравномерности просыхания их по длине. В конечной стадии сушки пиломатериалов крупного сечения (чаще лиственных пород), как уже отмечалось в гл. 4, иногда образуются внутренние трещины (свищи), обнаруживаемые при раскрое сортиментов.

В зависимости от расположения в сортименте трещины делятся на торцовые и боковые. Торцовые трещины расположены на торцах и на боковые стороны сортимента не выходят (рис. 89, а). Боковые трещины расположены на боковых сторонах сортимента, могут выходить на торцы. Среди боковых трещин в пиленых сортиментах различают пластевые (рис. 89, б) и кромочные (рис. 89, в).

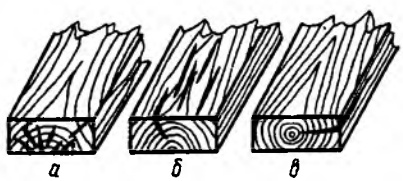


Рис. 89. Схемы расположения трещин в сортиментах:
а – торцовые; *б* – пластевые; *в* – кромочные

Если трещины распространяются на глубину менее 1/10 толщины сортимента (но не более 7 см для круглых лесоматериалов и 5 мм для пилопродукции) они называются неглубокими, если на бóльшую глубину – глубокими. Сквозными называются трещины, выходящие на две боковые стороны или на два торца сортимента. Сюда же относятся и отлупные трещины, выходящие в двух местах на одну сторону сортимента (могут образовать желобок). В шпоне трещины шириной менее 0,2 мм называются сомкнутыми, а более широкие – разошедшимися.

Боковые трещины измеряют по глубине сортимента в миллиметрах и длине в сантиметрах или соответственно в долях толщины и длины сортимента. Для измерения глубины пользуются тонким стальным щупом. Торцовые метиковые, отлупные и морозные трещины в круглых лесоматериалах измеряют по наименьшей толщине сердцевинной доски или диаметру круга, в которые они могут быть вписаны, или же по наименьшей ширине неповрежденной периферической зоны торца. Торцовые трещины усушки в круглых лесоматериалах измеряют по глубине. В пилопродукции торцо-

вые трещины измеряют по протяженности на торце в миллиметрах или в долях той стороны сортимента, на который их проекция больше. Отлупные торцовые трещины в пилопродукции измеряют по хорде или диаметру в зависимости от того, менее или более половины окружности годичного слоя занимает трещина. В шпоне трещины измеряют по длине, а у разошедшихся трещин измеряют и ширину; учитывают количество трещин на 1 м ширины листа.

Наименьшее снижение прочности из-за трещин наблюдается при сжатии вдоль или поперек волокон; наибольшее – при растяжении поперек волокон, если трещина расположена в плоскости, перпендикулярной действующему усилию, а также при скалывании, если трещина совпадает с плоскостью скалывания. При изгибе наибольшее отрицательное влияние оказывает трещина, перпендикулярная изгибающему усилию, расположенная в нейтральной плоскости. Здесь нормальные напряжения отсутствуют, но касательные напряжения максимальны и величина снижения прочности оказывается пропорциональной уменьшению площади, работающей на скалывание. По данным Н.Л Леонтьева, трещины не влияют на модуль упругости при растяжении и сжатии вдоль волокон, но сильно снижают модуль упругости при изгибе в том случае, когда плоскость трещины перпендикулярна изгибающему усилию. Трещины способствуют проникновению влаги и спор грибов в глубь сортимента.

Кроме трещин, включенных в ГОСТ 2140-81, встречаются *поперечные разрывы* древесины от действия *сжимающих* напряжений [15, 66]. Они возникают при чрезмерном изгибе тонких и малосбежистых стволов растущих деревьев. Разрывы можно обнаружить на строганых радиальных поверхностях пиломатериалов в виде прерывистых трещин, почти перпендикулярных волокнам. Этот порок существенно снижает механические свойства древесины, особенно прочность при растяжении и ударную вязкость. Пиломатериалы с большим количеством таких трещин непригодны для конструкционных целей.

§ 37. Пороки формы ствола

Сбежистость. Для всех стволов деревьев характерно постепенное уменьшение диаметра в направлении от комля к вершине (сбег). Если на каждый метр высоты ствола (длины сортимента) диаметр уменьшается более чем на 1 см, такое явление признается ненормальным и считается пороком – *сбежистостью*. Степень сбежистости определяется измерением разности между комлевым и вершинным диаметром круглого сортимента (в комлевых бревнах нижний диаметр измеряют на расстоянии 1 м от комлевого торца), а у необрезных пиломатериалов – между шириной комлевого и вершинного конца. Полученная разность относится к общей длине сортимента и выражается в сантиметрах на 1 м или в процентах.

Стволы лиственных пород более сбежисты, чем хвойных. Сильно сбежистые стволы у деревьев, выросших на свободе или в редком стоянии. Чем выше бонитет насаждения, тем стволы полнодревеснее, т. е. менее сбежисты. Наименьшая сбежистость характерна для сортиментов, выпиленных из средней части ствола, наибольшая – из вершинной. Сбежистость увеличивает количество отходов при распиловке сортиментов и их лущении и косвенным образом влияет на прочность, так как является причиной появления в пиломатериалах порока – радиального наклона волокон (см. ниже).

Закомелистость. Резкое увеличение диаметра в нижней части ствола, встречающееся у всех пород, называется закомелистостью. Закомелистость представляет собой частный случай сбежистости, когда диаметр круглых лесоматериалов или ширина необрезной пилопродукции у комлевого торца более чем в 1,2 раза превышает диаметр (ширину) сортимента на расстоянии 1,0 м от этого торца.

Округлой закомелистость называется в том случае, если поперечное сечение комлевой части имеет форму, близкую к окружности (рис. 90,а). Ребристая закомелистость характеризуется многолопастной формой поперечного сечения. На боковой поверхности сортимента видны продольные углубления (рис. 90,б).

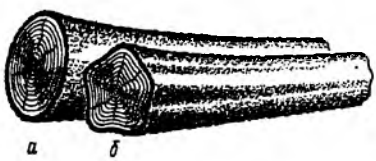


Рис. 90. Закомелистость:
а – округлая; *б* – ребристая

Закомелистость измеряется разностью диаметров (для необрезных пиломатериалов – ширин) комлевого торца и сечения на расстоянии 1 м от него. При ребристой закомелистости допускается определять разницу между максимальным и минимальным диаметрами комлевого торца.

Овальность. Элипсовидность формы торца круглых лесоматериалов, при которой наибольший диаметр не менее чем в 1,5 раза превышает меньший, называется овальностью. Порок измеряют разностью значений указанных диаметров. Овальность сопровождает крень или тяговую древесину (см. ниже).

Наросты. Это местные утолщения ствола. Они могут быть с гладкой (сувели – рис. 91) или бугристой окоренной поверхностью и спящими почками (капы). Иногда капы можно отличить от сувелей по наличию на них побегов. Наросты образуются под воздействием грибов, бактерий, вирусов, химических агентов, радиации, механических повреждений и т.п. Особенности формирования наростов, обусловленные нарушением ростовых процессов, исследованы в работах В.В. Коровина, Л.Л. Новицкой и др. На

продольном разрезе сувеля (см. рис. 91,а) годичные слои изогнуты и повторяют наружные очертания нароста. Для капов характерно свилеватое строение древесины. У хвойных пород образуются преимущественно сувели; у лиственных – наросты обоих типов. Свилеватость древесины капов и наличие в ней многочисленных следов спящих почек создает очень красивую текстуру на разрезах. Особенно декоративна текстура капов грецкого ореха. Прикорневые капы часто достигают значительных размеров. У ореха и березы они могут весить сотни килограмм, а иногда и больше тонны.

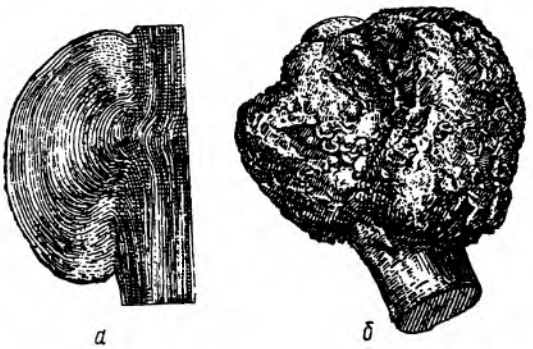


Рис. 91. Сувели:
а) продольный разрез;
б) внешний вид с корой

На стволах карельской березы часто образуются шаровидные утолщения с характерной для нее текстурой (см. рис. 91,б). Древесина сувелей имеет большую усушку вдоль волокон (от 0,5 до 1,0 %), низкий модуль упругости и малую прочность при сжатии вдоль волокон. Древесина капов более плотная и твердая, чем нормальная стволовая древесина и имеет менее выраженную анизотропию. Наросты измеряют по длине и ширине. Они затрудняют использование круглых лесоматериалов и осложняют их переработку, однако древесина капов высоко ценится как материал для художественных поделок и сырье для облицовочного строганого шпона.

Кривизна. Искривление ствола по длине – к р и в и з н а встречается у всех древесных пород. Вследствие потери верхушечного побега и замены его боковой ветвью, из-за наклона дерева в сторону лучшего освещения, при росте на горных склонах и по другим причинам ствол дерева может оказаться искривленным. Различают п р о с т у ю и с л о ж н у ю кривизну, характеризующуюся соответственно одним или несколькими изгибами сортимента.

Простую кривизну измеряют по величине стрелы прогиба сортимента в месте его искривления (в процентах от протяженности искривленного участка сортимента). При раскряжевке длинного сортимента на короткие кривизна их окажется меньшей примерно во столько раз, на сколько равных частей был разрезан длинный сортимент. Сложную кривизну характе-

ризуют величиной наибольшего искривления, измеряемого так же, как в случае простой кривизны.

Кривизна затрудняет применение круглых лесоматериалов по назначению, снижает выход пиломатериалов и шпона, служит причиной образования радиального наклона волокон.

§ 38. Пороки строения древесины

Все пороки этой группы можно разделить на семь подгрупп.

1. *Неправильное расположение волокон и годичных слоев.*

Наклон волокон. Так называется отклонение волокон от продольной оси сортимента. Этот порок, который раньше назывался косослоем, встречается у всех пород. В круглых лесоматериалах он обусловлен природным спиральным расположением волокон. Обнаруживается этот порок на боковой поверхности по направлению бороздок коры, а в окоренных сортиментах по винтовым трещинам (рис. 92,а). В пилопродукции и шпоне различают две разновидности этого порока. Тангенциальный наклон волокон обнаруживается на тангенциальном разрезе по отклонению от продольной оси сортимента направления смоляных ходов, сосудов, сердцевинных лучей, трещин и полосок грибных поражений (рис. 92,б).

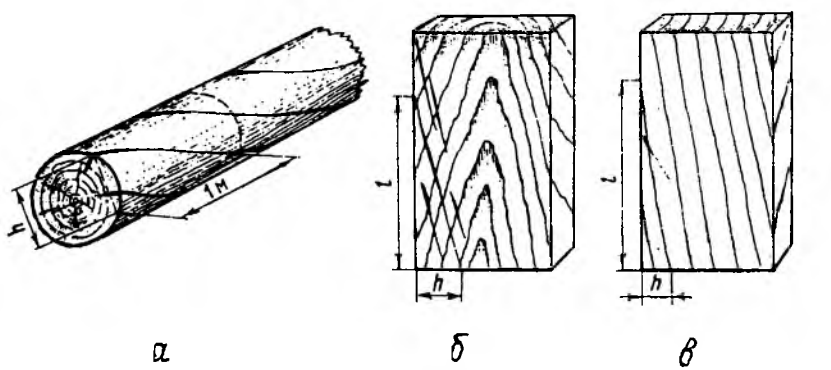


Рис. 92. Разновидности наклона волокон и способы его измерения:
а – тангенциальный наклон в круглых лесоматериалах; *б* и *в* – тангенциальный и радиальный наклон волокон в пилопродукции

Если указанные признаки выражены недостаточно четко, следует прочертить риски тонким, но не острым инструментом или провести пробное раскалывание вдоль волокон; отклонение риски от продольной оси сортимента или неплоскостность поверхности радиального раскола укажут на наличие порока.

Спиральное расположение волокон в растущем дереве связано с делением камбиальных клеток косорадиальными перегородками. Волокна могут быть направлены по левым или правым спиралям. Главная причина наклона волокон – наследственность. Как правило, с возрастом степень наклона увеличивается и на периферии ствола она больше, чем у сердцевины. У хвойных пород в сердцевине и ювенильной древесине волокна расположены по левым спиралям, а ближе к периферии – по правым.

Тангенциальный наклон волокон может образоваться в результате распиловки прямоволокнистой доски (бруса) на мелкие детали при направлении резов под углом к продольной оси исходного сортимента. Отличить указанный вид порока от природного тангенциального наклона волокон можно по одинаковой величине угла наклона на противоположных сторонах сортимента.

Радиальный наклон волокон наблюдается при перерезании годичных слоев на радиальной или близкой к ней поверхности пиломатериала. Указанная разновидность наклона волокон (по старой терминологии – искусственный косослой) получается при распиловке сильно сбежистых, закомелистых и кривых бревен. Если резы пилы проходят параллельно продольной оси бревна, то годичные слои и, следовательно, волокна на радиальной поверхности пиломатериала оказываются расположенными под углом к ребру сортимента (рис. 92,в). В этом случае на тангенциальной поверхности пиломатериалов, а также на лущеном шпоне, видны близко расположенные границы годичных слоев.

Наклон волокон измеряют в месте наибольшего проявления порока на боковой поверхности круглых лесоматериалов по отклонению волокон от линии, параллельной продольной оси сортимента, на протяжении 1 м и выражают в процентах или сантиметрах. В комлевых бревнах наклон волокон измеряют, отступя на 1 м от нижнего торца*. Допускается измерять порок на верхнем торце по хорде h (рис. 92,а) в сантиметрах или долях диаметра торца. В пилопродукции наклон волокон измеряют по величине отклонения h (рис. 92,б,в) на длине l, равной не менее двойной ширины сортимента (в процентах от длины этого участка продольной оси). В шпоне тангенциальный наклон измеряют так же, как в пилопродукции, а радиальный наклон – по средней ширине перерезанных годичных слоев, которые подсчитываются на отрезке длиной 100 мм в том участке тангенциальной поверхности листа, где эти слои расположены наиболее тесно.

Наибольшее снижение прочности от этого порока наблюдается при растяжении вдоль волокон, заметно снижается прочность при статическом изгибе; наименьшее влияние – при сжатии вдоль волокон. По данным Н.Л. Леонтьева наклон волокон, равный 12 %, вызывает снижение предела

---

* Такой метод измерения и по стандарту EN 1310

прочности сосны при сжатии вдоль волокон на 3 %, при статическом изгибе на 11 %, а при растяжении вдоль волокон на 14 %.

Модуль упругости также существенно снижается при увеличении наклона волокон, особенно при сжатии вдоль волокон.

Наклон волокон увеличивает усушку сортиментов в продольном направлении и служит причиной образования винтовой покоробленности (крыловатости) пиломатериалов, скручивания столбов. Кроме того, наклон волокон затрудняет механическую обработку древесины и снижает ее способность к изгибу.

Свилеватость. Так называется извилистое или беспорядочное расположение волокон, встречающееся чаще всего у лиственных пород. Волнистая свилеватость выражается в более или менее упорядоченном расположении волнообразно изогнутых волокон, образует характерную струйчатую текстуру (рис. 93). Наблюдается преимущественно в комлевой части ствола, особенно в местах перехода ствола в корни. Волнистая свилеватость наблюдается у березы, осины, клена, ясеня и других пород.



Рис. 93. Волнистая свилеватость у березы

Путаная свилеватость характеризуется беспорядочным расположением волокон; встречается главным образом в древесине наростов типа капов. Обычно свилеватость представляет собой местный порок, но иногда может обнаружиться на большом протяжении ствола, например в карельской березе (см. рис. 23,в).

Согласно исследованиям Н.О. Соколова, А.Я. Любавской и др. строение древесины карельской березы отличается от строения обычной березы повислой, кроме отмеченной особенности расположения волокон, наличием крупных ложношироких сердцевинных лучей, содержащих скопления мелких паренхимных клеток. Своеобразный, коричневатый узорчатый рисунок обусловливается бурым пигментом, находящимся в клетках сердцевинных лучей и паренхимы. Причины образования такой аномальной древесины рассматриваются в работах В.В. Коровина, Н.Е. Косиченко, Л.Л. Новицкой и др.

Измеряют ширину и длину свилеватой части поверхности в сантиметрах или долях ширины и длины сортимента, устанавливают процент площади поверхности сортимента занятой пороком. Свилеватость снижает прочность при растяжении, сжатии и изгибе, но повышает прочность при

скалывании, увеличивает ударную вязкость и сопротивление раскалыванию. Механическая обработка свилеватой древесины затруднена. Вместе с тем свилеватость (особенно путаная) создает красивую текстуру, которая высоко ценится при использовании древесины в качестве декоративного материала. Поэтому свилеватость следует считать условным пороком.

Завиток. Это местное искривление годичных слоев у сучков и проростей (см. ниже). На боковых поверхностях пилопродукции и в шпоне заметны скобообразные, изогнутые или замкнутые концентрические контуры искривленных годичных слоев. Односторонним называется завиток, выходящий на одну или две смежные стороны сортимента (рис. 94). Сквозным называется завиток, выходящий на две противоположные стороны сортимента.

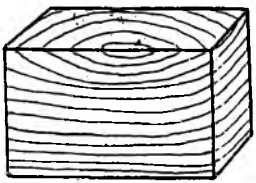


Рис. 94. Завиток односторонний

На боковых поверхностях пилопродукции и в шпоне измеряют ширину и длину завитка в линейных мерах или в долях ширины и длины поверхности, а также подсчитывают количество завитков на 1 м или всю длину сортимента (в пиломатериалах и заготовках) и на 1 м^2 или всю поверхность листа (в шпоне). Завитки, окружающие сучки, допустимые в данном сортименте, не учитываются.

Наибольшее снижение прочности наблюдается при наличии сквозных завитков, находящихся под действием растягивающих напряжений. Завитки снижают также ударную вязкость. Особенно опасны завитки для мелких сортиментов.

2. *Реактивная древесина.*

В наклонных и изогнутых стволах и ветвях образуется особая древесина, получившая в мировой ботанической литературе название реактивной. Такая древесина образуется под воздействием силы тяжести, вызывающей перераспределение гормонов (ауксина и др.), стимулирующих или подавляющих ростовые процессы; ветровой нагрузки; напряжений роста; осмотического давления и других факторов.

Крень. Этот порок строения древесины хвойных пород выражается в кажущемся увеличении ширины поздней зоны годичных слоев. Креневая древесина лишь по цвету напоминает позднюю древесину. Крень образуется преимущественно в сжатой зоне наклоненных или изогнутых стволов, т. е. на нижней, обращенной к земле, стороне.

Сплошная крень (рис. 95,*а*) обнаруживается на торцах стволов, длительно подвергавшихся изгибу, в виде темноокрашенного участка, занимающего иногда более половины сечения, имеющего овальную форму

и эксцентрично расположенные годичные слои. Сердцевина смещена в сторону, противоположную креневой зоне. В креневой древесине годичные слои значительно шире, а в пределах каждого годичного слоя переход от светлой к темной зоне менее резкий, чем в нормальной древесине. Обычно поверхность креневой древесины более гладкая, чем у нормальной. Сплошная крень чаще наблюдается в комлевой части ствола, а в искривленных участках ствола может быть в растянутой зоне. Встречается также в нижней (сжатой) зоне ветвей.

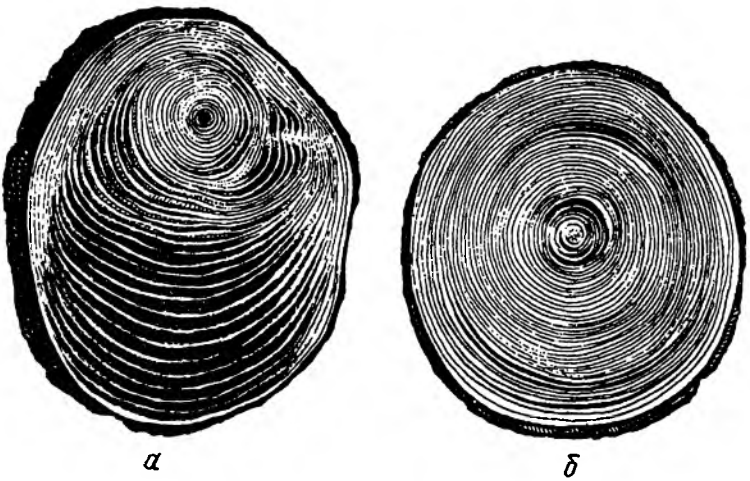


Рис. 95. Крень:
а – сплошная; *б* – местная

Местная крень (рис. 95,*б*) возникает при кратковременном изгибе ствола или действии других факторов. На торце ствола заметна в виде дугообразных участков, захватывающих один или несколько годичных слоев.

На боковых поверхностях пилопродукции и шпона сплошная и местная крень видны как тусклые темные полосы различной ширины. Особенно часто встречается и хорошо заметна крень у ели и пихты; в темноокрашенной ядровой зоне лиственницы, сосны, кедра крень видна хуже.

Крень измеряют по ширине и длине зоны, занятой этим пороком (в линейных мерах или в долях соответствующих размеров сортимента); можно также определять долю (в процентах) площади стороны сортимента, занимаемую пороком.

Креневые трахеиды имеют округлую форму поперечного сечения; поэтому видны крупные межклеточные пространства. Толщина стенок в 2 раза больше, чем в нормальных трахеидах. Слой S_3 в стенках отсутствует,

а в слое S_2 микрофибриллы наклонены под углом 45°, т. е. значительно большим, чем обычно. Длина трахеид в креневой зоне, так же как и на других участках быстрого роста, на 10–40% меньше, чем у нормальной древесины.

У креневой древесины снижается примерно на 10% содержание целлюлозы и увеличивается содержание лигнина. Плотность, торцовая твердость, прочность при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе повышаются. В то же время предел прочности при растяжении вдоль волокон и ударная вязкость снижаются. Модули упругости вдоль волокон падают, а модули сдвига и модули упругости при сжатии поперек волокон возрастают.

Усушка поперек волокон у креневой древесины примерно в 2 раза меньше, чем у нормальной. Однако усушка вдоль волокон, из-за большого угла наклона микрофибрилл, значительно увеличивается (в 10 и более раз). Это вызывает продольное коробление и растрескивание пилопродукции.

Предел гигроскопичности у креневой древесины ниже, снижается также проницаемость древесины для жидкости и газов, что связано с меньшими размерами полостей трахеид и окаймленных пор; падает водопоглощение.

Присутствие крени в балансах снижает выход химически чистой целлюлозы, увеличивает расходы на ее отбелку. Из-за крени ухудшается качество древесной массы, используемой в бумажном производстве.

Тяговая древесина. Так называется порок строения древесины лиственных пород, родственный по происхождению крени. Однако в отличие от крени этот порок образуется в верхней (растянутой) зоне искривленных или наклоненных стволов и ветвей некоторых пород (бука, тополя и др.). У бука после валки дерева тяговая древесина может быть обнаружена по более светлой окраске с серебристым или перламутровым оттенком. Под действием света, воздуха, а так же при сушке тяговая древесина окрашивается в более темный коричневатый цвет.

На торцах лесоматериалов тяговая древесина имеет вид дугообразных участков, отличающихся цветом и структурой (пушисто-бархатистая поверхность) от нормальной древесины. На радиальной поверхности и в шпоне с хорошо видимыми годичными слоями (дуб, ясень) наблюдается в виде узких полосок – тяжей. В лесоматериалах со слабовыраженными годичными слоями (береза, клен) распознавание порока затруднено. У бука рекомендуется обработать торцовую поверхность сортимента, имеющую влажность 30–40 %, водным раствором хлорцинкйода, при этом тяговая древесина окрасится в сине-фиолетовый цвет. Способы измерения тяговой древесины такие же, как и для крени.

Содержание волокон либриформа увеличивается, они имеют меньший диаметр, но большую длину и значительно утолщенные стенки. В стенках волокон либриформа имеется мощный желатинозный слой, выстилающий внутреннюю поверхность (со стороны полости). Этот слой богат

целлюлозой и не одревесневает. Общее содержание целлюлозы и золы выше, а лигнина и гемицеллюлоз ниже, чем у нормальной древесины.

Плотность тяговой древесины примерно на 10–30 % выше. Усушка тяговой древесины вдоль волокон примерно в 2 раза больше, чем у нормальной древесины; однако снижение усушки поперек волокон меньше, чем у креневой. Прочность при сжатии вдоль волокон меньше, а прочность при растяжении вдоль волокон и ударная вязкость больше, чем у нормальной древесины.

Тяговая древесина затрудняет механическую обработку пиломатериалов, приводя к образованию ворсистых и мшистых поверхностей. Отделяющиеся при резании волокна забивают межзубные впадины пил, и процесс пиления замедляется.

Следует отметить, что у нас этот порок изучался мало. В связи с использованием низкосортной древесины лиственных пород предстоит провести более широкие исследования влияния этого порока на качество древесины.

3. Нерегулярные анатомические образования.

Ложное ядро. Такое название получила темноокрашенная внутренняя зона древесины лиственных пород с нерегулярным ядрообразованием (береза, бук, ольха, осина, клен, граб, липа и др.). Граница ложного ядра обычно не совпадает с годичными кольцами. От заболони оно отделено чаще темной, реже светлой (например, у березы) каймой. Иногда темная кайма делит ядро на секции.

На поперечном разрезе ствола в зависимости от формы различают округлое, звездчатое или лопастное ложное ядро (рис. 96). Оно окрашено в темно-бурый или красно-бурый цвет, иногда с лиловым, фиолетовым или темно-зеленым оттенком. На продольных разрезах заметна широкая полоса одного или нескольких из указанных цветов.

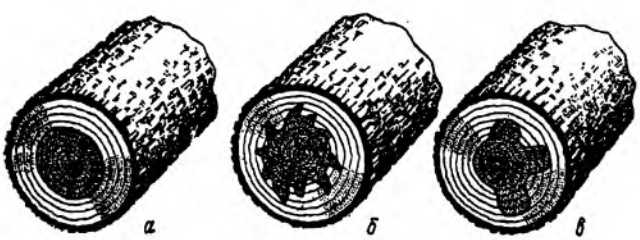


Рис. 96. Ложное ядро:
а – округлое; *б* – звездчатое; *в* – лопастное

Причинами образования порока могут быть: возрастная дифференциация тканей, раневая реакция дерева, воздействие грибов, влияние сильных морозов.

В круглых лесоматериалах ложное ядро измеряют по наименьшему диаметру круга, в который оно может быть вписано; в фанерном сырье (чураках) измеряют наименьшую ширину свободной от порока периферической зоны (в линейных мерах или долях диаметра торца). В пилопродукции и шпоне измеряют размеры зоны, занятой пороком.

Ложное ядро ухудшает внешний вид древесины. Эта зона древесины имеет пониженные проницаемость, прочность при растяжении вдоль волокон, ударную вязкость. При наличии ложного ядра уменьшается способность древесины к загибу. У березы ложное ядро легко растрескивается. По стойкости к загниванию ложное ядро часто превосходит заболонь.

Внутренняя заболонь. В древесине дуба, ясеня (иногда и у других лиственных пород) в зоне ядра образуется несколько смежных годичных слоев, похожих по цвету и другим свойствам на заболонь. Этот участок древесины называется внутренней заболонью. В круглых сортиментах на торцах среди темно-окрашенной древесины ядра заметно одно или несколько колец светлого цвета разной ширины (рис. 97). В пиломатериалах на радиальных или близких к ним поверхностях заметны ровные светлые полосы. На тангенциальных поверхностях внутренняя заболонь наблюдается в виде более или менее широкой полосы, которая при перерезании годичных слоев выклинивается. Внутренняя заболонь образуется вследствие нарушения нормальной деятельности камбия, вызванного морозами.

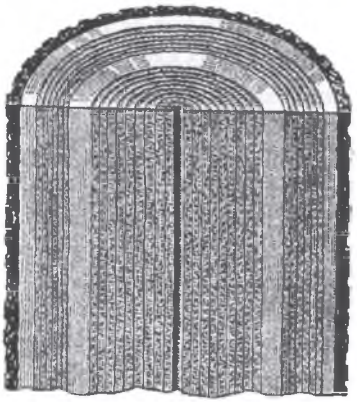


Рис. 97. Внутренняя заболонь

В круглых сортиментах измеряют наружный диаметр кольца внутренней заболони, а также ширину кольца. В пилопродукции и шпоне измеряют ширину и длину или площадь зоны, занятой пороком.

Внутренняя заболонь, как и нормальная, имеет значительно меньшую стойкость против загнивания, чем ядро; легко пропускает жидкости. Усушка древесины внутренней заболони несколько меньше, чем ядровой древесины.

Пятнистость. В древесине растущих деревьев лиственных пород вследствие раневой реакции, воздействия химических факторов, грибов и

насекомых образуются сравнительно небольшие по размеру темноокрашенные участки древесины, по цвету напоминающие ядро и сердцевину.

Тангенциальная пятнистость чаще всего встречается у бука и заметна на торцах в виде вытянутых по годичному слою пятен шириной, примерно равной ширине годичного слоя и длиной до 2 см, а иногда и более. На тангенциальных разрезах видны продольные широкие полосы коричневатого или серо-коричневого цвета без красноватого оттенка, на радиальном разрезе – узкие полосы с резко выделяющимися на темном фоне сердцевинными лучами.

Радиальная пятнистость встречается у лиственных пород (чаще у березы), обычно ближе к центральной части ствола; на торцах сортиментов заметна в виде небольших пятен темно-бурого, коричневого или темно-серого цвета, вытянутых преимущественно по радиальному направлению, т. е. вдоль сердцевинных лучей. На продольных разрезах пятнистость наблюдается в виде продольных полос, суживающихся по концам. Возникает под воздействием грибов и насекомых, в результате повреждений коры птицами.

Прожилки, или сердцевинные повторения, как уже отмечалось, постоянно встречаются в древесине березы (служат для нее диагностическим признаком), а также у других лиственных пород (ольхи, рябины и др.). Прожилки хорошо заметны на радиальном разрезе в виде коричневых черточек, расположенных обычно у границ годичного слоя, на тангенциальном разрезе они имеют петлеобразную форму. В шпоне различают разбросанные и расположенные скученно, в виде переплетающихся полосок, групповые прожилки.

Сердцевинные повторения, по мнению ряда исследователей, представляют собой заросшие рыхлой паренхимной тканью следы повреждений камбиального слоя дерева личинками насекомых. Н.Е. Косиченко недавно показал, что это слаборазвитые зоны аномалий древесины, характерных для карельской березы.

В круглых лесоматериалах пятнистость не учитывается. В пилопродукции и шпоне измеряют длину и ширину или площадь зоны пятнистости в процентах от площади соответствующей поверхности сортимента. На механические свойства крупных сортиментов пятнистость существенного влияния не оказывает. Однако в шпоне в местах крупных пятен радиальной пятнистости происходит растрескивание. Большое количество прожилок может снизить прочность шпона при растяжении.

4. Сердцевина, смещенная и двойная сердцевина.

Сердцевина, представляющая собой часть ствола, описана ранее (см. гл. 1 и 2). В круглых сортиментах присутствие сердцевины неизбежно и поэтому пороком не считается. В пилопродукции измеряется глубина залегания сердцевины в миллиметрах или долях толщины, считая от бли-

жайшей пласти или кромки. Сердцевина и примыкающая к ней ювенильная древесина существенно снижают прочность сортиментов малого сечения. В крупных пиленых сортиментах присутствие сердцевины нежелательно из-за многочисленных заросших сучков вокруг нее. Кроме того, при сушке сортименты, выпиленные таким образом, что в них оказывается сердцевина, как правило, растрескиваются вследствие анизотропии усушки. Сердцевина легко загнивает.

Смещенная сердцевина. Порок выражается в эксцентричном расположении сердцевины; затрудняет использование круглых лесоматериалов, указывает на наличие реактивной древесины.

Двойная сердцевина. В сортиментах, выпиленных из ствола вблизи его разделения на отдельные вершины, могут быть обнаружены две, иногда и более, сердцевины. Каждая сердцевина имеет свою систему годичных слоев и по периферии ствола окружена общей системой годичных слоев. Сечение ствола принимает овальную форму. (рис. 98).



Рис. 98. Двойная сердцевина в стволе сосны

В пилопродукции и шпоне измеряют длину участка с двойной сердцевиной, а в круглых лесоматериалах только отмечается наличие этого порока. Пиленые сортименты с двойной сердцевиной сильнее коробятся и растрескиваются. Механическая обработка круглых сортиментов (распиловка и лущение) затрудняется и сопровождается увеличением количества отходов.



5. *Пасынок и глазки.*

В эту подгруппу включены очень крупные или, наоборот, крайне малые сучки.

Пасынок представляет собой отставшую в росте или отмершую вторую вершину ствола, которая пронизывает сортимент под острым углом к его продольной оси на значительном протяжении (рис. 99). В круглых лесоматериалах пасынок имеет вид сильно вытянутого овала, в пилопродукции и шпоне – полосы или овала с самостоятельной системой годичных слоев. Порок измеряют по наименьшему диаметру его сечения. Пасынок нарушает однородность строения древесины, а в пилопродукции – и целостность, снижает прочность, особенно при изгибе и растяжении.

Рис. 99. Пасынок

Глазки – это следы неразвившихся в побег спящих почек*, которые обнаруживаются в пилопродукции и шпоне. Диаметр глазков не более 5 мм. Различают глазки** разбросанные и групповые (три и более глазка на расстоянии друг от друга, меньшем 10 мм). Кроме того, в шпоне выделяют светлые, почти не отличающиеся по цвету от окружающей древесины, и темные глазки.

Разбросанные глазки измеряют по количеству их, а групповые – по ширине и длине занимаемой ими зоны. В мелких сортиментах глазки, особенно находящиеся в растянутой зоне опасного сечения, снижают прочность при статическом изгибе и ударную вязкость.

6. *Раны.*

Сухобокость. Так называется наружное одностороннее омертвление ствола. Лишенный коры участок обычно вытянут по длине ствола и углублен по отношению к остальной поверхности, по краям имеет наплывы в виде валиков (рис. 100). Этот порок встречается в древесине всех пород; образуется вследствие обдира, ушиба, ожога или перегрева коры растущего дерева. У хвойных пород сухобокость сопровождается повышенной смолистостью. В области сухобокости часто появляется заболонная грибная окраска, а также ядровые окраски и гнили, которые смещены в наружные зоны древесины.

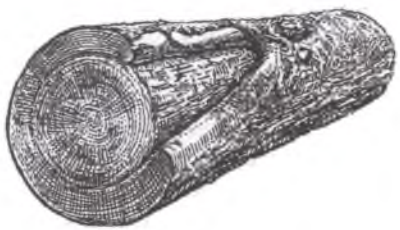


Рис. 100. Сухобокость

Сухобокость измеряют в круглых лесоматериалах по глубине, ширине и длине.

Сухобокость изменяет правильную форму круглых сортиментов, вызывает местное искривление годичных слоев и обычно нарушает целостность древесины у мест наплывов; снижает выход пиломатериалов и шпона.

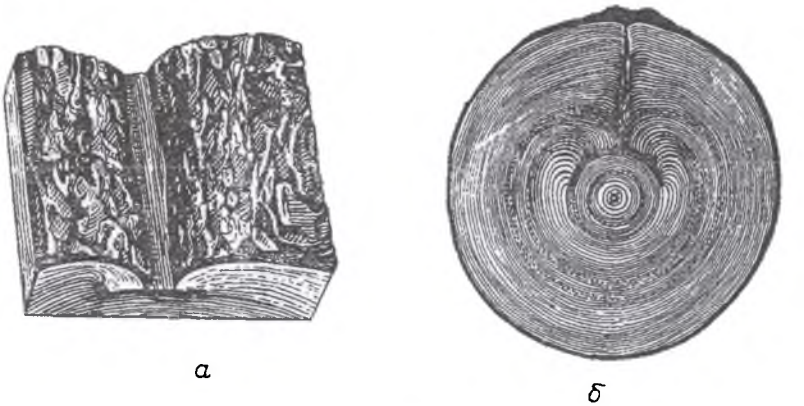
Прорость – это зарастающая или заросшая рана, содержащая кору и омертвелую древесину. При частичном зарастании рана легко обнаруживается на боковой поверхности ствола. В случае полного зарастания прорость заметна только на поперечном разрезе, как отлуповидная щель и внутренняя радиальная трещина, заполненная остатками коры (рис. 101,*б*).

Различают прорость открытую (рис. 101,а), выходящую только на боковую поверхность сортимента или на боковую поверхность и торец, и закрытую, обнаруживаемую на торцах круглых лесоматериалов

* Из этих почек образуются так называемые "водяные побеги"

** По стандарту EN 844-1 глазки входят в порок "булавочные сучки", а их совокупности называются "кошачья лапа".

(рис. 101,*б*) и пилопродукции. Открытая прорость имеет ширину обычно менее 2 см, что позволяет отличать ее от более широкой раны – сухобокости.



а *б*

Рис. 101. Прорость:
а – открытая; *б* – закрытая

В пилопродукции и шпоне среди открытых проростей выделяют о д н о с т о р о н н ю ю, выходящую на одну или две смежные боковые стороны сортимента, и с к в о з н у ю, выходящую на две противоположные боковые стороны сортимента.

Кроме того, в шпоне могут быть еще такие разновидности проростей: с р о с ш а я с я – след от закрытой прорости в виде вытянутого участка (шва) свилеватой древесины; с в е т л а я – близкая по цвету к окружающей древесине, и т е м н а я, содержащая включение коры или значительно отличающаяся по цвету от окружающей древесины.

В круглых лесоматериалах открытую и закрытую прорость измеряют по наименьшей толщине сердцевинной вырезки (доски), в которую она может быть вписана.

В пиломатериалах прорость измеряют по глубине, ширине, длине и количеству в штуках на 1 м длины или всю сторону сортимента, в шпоне – по длине и количеству в штуках на 1 $м^2$ или всю площадь листа.

Прорость нарушает целостность древесины и сопровождается искривлением годичных слоев. Степень влияния проростей на качество древесины зависит от их разновидности, размеров, местоположения, количества, а также от характера сортимента.

Рак. Этот порок представляет собой рану, возникающую на поверхности ствола растущего дерева в результате деятельности грибов и бактерий. Рак может быть о т к р ы т ы м в виде незаросшей раны с плоским или неровным дном, ступенчатыми краями и наплывами у периферии, или з а к р ы т ы м в виде заросшей раны с ненормальными утолщениями тка-

ней коры и древесины возле пораженных мест. Встречается у лиственных и хвойных пород. У хвойных пород сопровождается сильным смолотечением и засмолением древесины (рис. 102). Открытый рак измеряют по ширине, длине и глубине раны, закрытый – по длине и толщине вздутия в линейных мерах или долях размера сортимента.



Рис. 102. Рак сосны

При этом пороке нарушается правильная форма круглых сортиментов. В связи с изменением строения и повышенной смолистостью древесины у хвойных пород затрудняется использование сортиментов по назначению.

7. Ненормальные отложения в древесине.

Засмолок. Так называется обильно пропитанный смолой участок древесины, образующийся вследствие ранения стволов хвойных пород*, содержащих смоляные ходы и смоляные клетки в древесине. Чаще всего засмолки встречаются у сосны. На круглых сортиментах обнаруживаются по наличию ран и скоплению смолы. Засмоленные участки темнее окружающей нормальной древесины и в тонких сортиментах просвечивают.

Порок измеряют по длине, ширине и глубине или площади засмоленного участка. Засмоленная древесина имеет значительно меньшие водопроницаемость, влаго- и водопоглощение, но большую плотность и пониженную ударную вязкость; теплота сгорания пропитанной смолой древесины, по данным С.И. Ванина, увеличивается (на 30 % при смолистости в 45 %). Засмоленная древесина имеет повышенную стойкость к загниванию, но плохо отделывается и склеивается.

Кармашек. Этот порок, который назывался ранее смоляным кармашком, представляется собой полость внутри или между годичными слоями, заполненную смолой или камедями. Такие смоловместилища встречаются у хвойных пород, содержащих смоляные ходы в древесине, особенно часто у ели. На торцах видны дугообразные трещины – луночки, плоской стороной обращенные к центру ствола, а выпуклой – к его периферии (рис. 103). На тангенциальной поверхности кармашки представляют собой углубления в виде овала, вытянутого в продольном направлении, на радиальном разрезе они заметны в виде коротких щелей.



Рис. 103. Кармашки

* У лиственных пород европейский стандарт предусматривает возможность наличия подобного порока в виде участка с повышенным содержанием камеди.

В пилопродукции различают кармашки: односторонний, выходящий на одну или две смежные стороны сортимента, и сквозной, выходящий на две противоположные стороны. Размеры кармашков у ели сибирской могут колебаться от нескольких миллиметров до 10 – 15 см. Кармашки возникают в результате подкорового повреждения камбия при нагревании отдельных участков ствола солнечными лучами в морозный период. Мелкие кармашки могут образовываться и от повреждения насекомыми. Для улучшения добычи живицы из ели можно создавать кармашки искусственным путем, нанося специальным инструментом крупные подкоровые повреждения камбия.

Кармашки измеряют по глубине, ширине и длине, а также учитывают их количество в штуках: в пилопродукции – на 1 м длины или всю длину сортимента, в шпоне – на 1 $м^2$ или всю площадь листа. Вытекающая из кармашков смола препятствует отделке и склеиванию деталей изделий. В мелких деталях кармашки могут существенно снизить прочность древесины.

Водослой. Так называются участки ядра или спелой древесины с повышенной влажностью в свежесрубленном состоянии. Этот порок встречается в комлевой части ствола как у хвойных пород (сосны, кедра и особенно часто – ели и пихты), так и у лиственных пород (осины, ильма, тополя и др.).

На торцах лесоматериалов видны темные пятна различной формы, а на продольных разрезах – полосы. После высыхания пятна водослоя бледнеют и на этих участках древесины появляются мелкие трещинки. Зимой водослой заметен в виде мерзлых стекловидных пятен. По высоте ствола водослой распространяется от комля на 3–5 м, а иногда и на 10–11 м. Влажность сосны и ели в зоне водослоя в 3–4 раза превышает влажность здоровой древесины (ядра или спелой древесины).

В круглых лесоматериалах водослой измеряют по наименьшей толщине сердцевинной вырезки (доски), по наименьшему диаметру круга, в которые он может быть вписан, или же по наименьшей ширине свободной от порока периферической зоны торца; по площади зоны, занятой пороком. В пилопродукции измеряют ширину и длину или площадь зоны, занятой пороком.

Причины образования водослоя пока еще окончательно не установлены. Некоторые исследователи считают, что этот порок в древесине ильма, тополя, пихты и других пород вызывается деятельностью бактерий. В ряде работ возникновение водослоя связывают с проникновением дождевой воды через незаросшие сучки.

О.И. Полубояринов высказывал предположение о грибной природе водослоя у осины. По данным указанного автора появление водослоя в осине приводит к снижению механических свойств в среднем на 10 %; особенно заметно падает ударная вязкость. Водослойная древесина отличается от здоровой повышенной усушкой и разбуханием. Замечено повышение предела гигроскопичности. Водослой затрудняет пропитку древеси-

ны антисептиками. Повышенная способность к водопоглощению может служить причиной утопа при сплаве. По исследованиям ЦНИИМОДа (В.Д. Дышловая и А.П. Поцелуйко) образование водослоя у ели и сосны связано с перенасыщенностью почвы влагой. Отмечается значительная хрупкость водослойной древесины указанных пород. Наличие трещин в центральной зоне водослоя у растущих деревьев и образование трещин при подсыхании срубленной древесины снижает выход высококачественных пиломатериалов.

§ 39. Химические окраски

Окраски этой группы возникают на свежесрубленной или сплавной древесине в результате химических и биохимических процессов. От красок грибного происхождения химические окраски отличаются большей равномерностью и расположением в поверхностных слоях древесины (на глубине 1–5 мм). После просыхания древесины окраски в большей или меньшей мере выцветают.

Продубина представляет собой красновато-коричневую или синевато-бурую окраску глубиной до 5 мм у сплавной древесины, появляющуюся в результате окисления дубильных веществ. Желтизна наблюдается на сплавной древесине хвойных пород в виде сплошной поверхностной окраски лимонно-желтого цвета. Окраска возникает вследствие химических изменений в содержимом живых клеток заболони при недостатке кислорода. При этом образуются желтого цвета вещества, которые в результате интенсивной сушки выносятся к поверхности и окрашивают древесину.

В шпоне химические окраски в зависимости от цвета и способности маскировать текстуру делят на светлые и темные. Химические окраски не влияют на физико-механические свойства древесины, лишь ухудшая ее внешний вид. Наличие этого порока учитывают в шпоне и других облицовочных материалах.

§ 40. Грибные поражения

Грибы ранее относили к низшим споровым растениям; теперь их выделяют в самостоятельное царство живой природы (*Mycota*). Характерное отличие грибов – отсутствие у них хлорофилла. Поэтому они нуждаются в готовых органических веществах. Различают грибы сапротрофы и паразиты. Первые находят питательные вещества в тканях мертвых растений, а вторые – в живых растениях. Кроме того, имеются полупаразиты, которые могут жить как паразиты и как сапротрофы; к этой группе относятся многие из грибов, вызывающие разрушение древесины.

Грибы размножаются преимущественно спорами, представляющими собой мелкие клетки, покрытые толстой оболочкой. Они переносятся воздушными течениями или водой, распространяются насекомыми. В расту-

щие деревья споры проникают через раны, появляющиеся в результате отмирания ветвей или вследствие повреждений, наносимых человеком, животными, насекомыми и др. Неповрежденная кора препятствует проникновению спор.

При благоприятных условиях споры прорастают, образуя гифы (тонкие бесцветные или окрашенные нити), которые, разветвляясь и сплетаясь, формируют мицелий гриба, или грибницу во всех ее видоизменениях (пленки, шнуры, ризоморфы); из гиф же состоит и плодовое тело гриба, служащее для образования спор. При влажности древесины ниже 20 % грибы развиваться не могут; невозможно также развитие грибов в древесине, полностью насыщенной водой, так как в ней недостает воздуха. При температуре ниже 2 °С и выше 40–45 °С развитие грибов прекращается.

Некоторые грибы потребляют только содержимое клеток, другие разрушают и клеточные стенки. Для перевода питательных веществ в растворимое состояние, когда они легко усваиваются организмом, грибы выделяют органические вещества белковой природы – ферменты.

Под воздействием грибов в древесине происходят двоякого рода изменения. В одном случае физико-механические свойства древесины практически сохраняются – она лишь принимает ту или иную окраску, зависящую от выделяемых грибом пигментов или цвета гиф. Такого рода изменения вызывают грибы, получившие название деревоокрашивающих. Проникая в древесину, гифы этих грибов распространяются по полостям сосудов и трахеид. Сюда они попадают из паренхимных клеток, где имеются легкорастворимые питательные вещества. Редко гифы этих грибов переходят из клетки в клетку через отверстия, проделанные ими самими в стенках.

В других случаях грибы вызывают изменение физико-механических свойств древесины и в конце концов разрушают ее; такого рода изменения называются гниением древесины, а вызывающие их грибы – дереворазрушающими.

Первичные изменения клеточных стенок заключаются в появлении в них отверстий, проделанных гифами. Дальнейшие изменения зависят от выделяемых гифами ферментов и последовательности их действия.

Различают два типа гниения – коррозионный и деструктивный. В первом случае древесина приобретает характерную ячеистую структуру. На определенных стадиях процесса гниения в древесине появляются выцветы или белые пятна целлюлозы. Исследование химического состава гнилой древесины показало, что при этом типе гниения уменьшается содержание лигнина, количество же целлюлозы почти не меняется. Примером коррозионной (ячеистой) гнили может служить гниль сосны от сосновой губки *Phellinus pini* (Thore ex Fr.) Pil. или ели от корневой губки *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. и др.

При деструктивном типе гниения происходит равномерное растворение стенок клеток без образования в них крупных отверстий. В древесине появляются многочисленные трещины вдоль и поперек волокон, и она распадается на отдельные призматические кусочки; относительное содержание лигнина возрастает за счет уменьшения количества целлюлозы. Гнили деструктивного типа вызывают, например, домовые грибы *Serpula lacrimans* (Wulf ex Fr.) Bond. и др.

Таким образом, все грибы в начале развития вызывают изменение цвета древесины: пораженные места становятся бурыми, коричневыми, красноватыми и др. В дальнейшем деревоокрашивающие грибы почти не изменяют свойств древесины, а дереворазрушающие вызывают постепенное полное разрушение древесины (т. е. гниль). Более подробные сведения о грибах изложены в курсах лесной фитопатологии [76].

Грибные ядровые пятна и полосы. Это порок, выражающийся в изменении цвета древесины центральной зоны ствола (настоящего, ложного ядра или спелой древесины) без снижения ее твердости. Порок возникает под действием деревоокрашивающих или дереворазрушающих грибов, встречается в древесине растущих деревьев всех пород. В срубленной древесине дальнейшее развитие порока обычно прекращается.

В области ядра или спелой древесины на торцах видны крупные пятна различных очертаний – лунки, кольца или сплошные зоны поражения, на продольных разрезах заметны продольные полосы. Пятна и полосы могут иметь различный цвет – бурый, красноватый, коричневый, реже черный и серо-фиолетовый. В круглых лесоматериалах ядровые пятна и полосы измеряют одним из способов, указанных для водослоя. В пилопродукции и шпоне окрашенная зона измеряется в линейных мерах или в долях ширины, длины и толщины, а также в процентах площади соответствующей стороны сортимента. Исследованиями ЦНИИМОДа (С.Н. Горшин, А.Л. Михайличенко и Н.П. Нечаева) установлено, что грибы *Phellinus pini* Thore ex. Fr. и *Phellinus pini var. abietis* (Karst) Pil., вызывающие появление грибных окрасок и пятен в сосне и ели, практически не снижают прочность при статических нагрузках, а твердость может быть даже немного выше, чем в здоровой древесине. В то же время ударная вязкость сильно снижается (на 30 – 40 %). Водопоглощение и водопроницаемость повышаются, ухудшаются биостойкость и внешний вид древесины.

Ядровая гниль. Порок образуется в древесине растущего дерева под действием разрушающих грибов. При этом снижается твердость и прочность древесины; происходит изменение ее структуры и цвета.

В растущем дереве различают напённую и стволовую гниль (рис. 104,а,б). Напённая гниль возникает в корнях или в поврежденных местах комлевой части ствола. Постепенно суживаясь, она распространяется вверх по стволу иногда на несколько метров. Стволовая гниль начинается от обломанных ветвей или ран на стволе, распространяясь от мест

заражения вверх и вниз; имеет форму сигары. До комлевой части ствола гниль обычно не доходит. На торцах лесоматериалов гниль наблюдается в виде крупных пятен различных очертаний – лунок, колец или сплошной зоны поражения в центральной части ствола; иногда зона поражения смещена от центра и даже выходит на периферию. На продольных разрезах гниль заметна в виде полос.

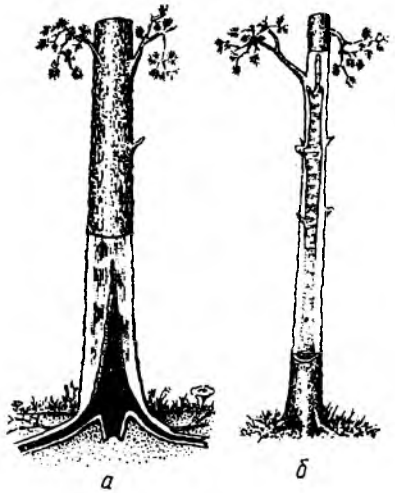


Рис. 104. Расположение ядровых гнилей в растущем дереве:
а – напённая гниль; *б* – стволовая гниль

Пестрая ситовая гниль проявляется в том, что на красновато-буром фоне пораженной древесины заметны многочисленные мелкие белые или желтоватые пятнышки, вытянутые вдоль волокон. Древесина может долгое время сохранять целостность. При более сильном разрушении древесина приобретает ячеистую или волокнистую структуру (рис. 105, *а*), становится мягкой и легко расщепляется. Встречается в древесине хвойных и лиственных пород.

Бурая трещиноватая гниль (рис. 105,б) характеризуется бурым с различными оттенками цветом и трещиноватой структурой пораженной древесины. Многочисленные трещины, направленные вдоль и поперек волокон, иногда содержат скопления беловатых пленок грибницы. По трещинам древесина распадается на призматического вида кусочки, легко деформируется и растирается между пальцами в порошок. Встречается у хвойных и лиственных пород.

Белая волокнистая гниль имеет светло-желтый или почти белый цвет, иногда на древесине видны узкие извилистые черные линии. Такая пестрая окраска напоминает рисунок мрамора. Гниль встречается в стволах деревьев лиственных пород. При сильном разрушении древесины пораженная зона становится мягкой, легко расщепляется на волокна и крошится.

Порок измеряют такими же способами, как ядровые пятна и полосы. В срубленной древесине дальнейшее развитие пестрой ситовой гнили пре-

кращается, развитие бурой трещиноватой и белой волокнистой гнили иногда может продолжаться.

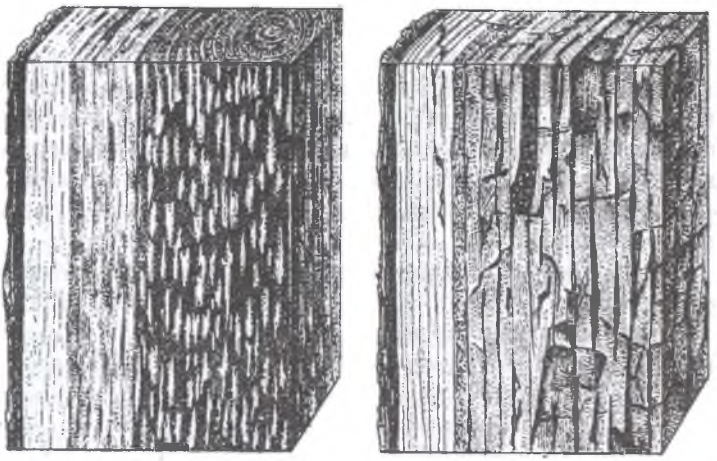


Рис. 105. Ядровые гнили:
а – пестрая ситовая; *б* – бурая трещиноватая

Различаются три стадии развития гнили: первую, когда изменяется только цвет древесины; вторую, когда частично нарушается структура и снижается твердость древесины; третью, когда древесина полностью утрачивает твердость и прочность.

Плотность в конечной стадии снижается в 2–2,5 раза, водопоглощение и водопроницаемость повышаются. При высыхании гнилая древесина больше коробится. Механические свойства при деструктивном типе гниения снижаются сильнее, чем при коррозионном.

Качество древесины с гнилью в зависимости от стадии гнили и размеров поражения понижается вплоть до того, что древесина оказывается полностью непригодной для использования.

Дупло. Порок представляет собой полость в стволе растущего дерева, образовавшуюся в результате полного разрушения древесины. Это, по существу, четвертая стадия развития гнили от воздействия одного или чаще нескольких дереворазрушающих грибов. Измеряют порок так же, как ядровую гниль.

Плесень. Плесень представляет собой налетную поверхностную окраску, образуемую грибницей с органами плодоношения плесневых грибов. Окраска чаще всего появляется на сырой заболони при хранении лесоматериалов; встречается на древесине всех пород. Плесень наблюдается в виде отдельных пятен или сплошного налета сине-зеленого, голубого, зеленого, черного, розового и других цветов в зависимости от окраски спор и

грибницы, а также от выделяемого пигмента. После просыхания налет легко сметается, оставляя иногда на поверхности грязноватые или цветные пятна.

Плесень измеряют в пилопродукции и шпоне по длине и ширине или площади зоны поражения. Она обычно не оказывает влияния на физико-механические свойства древесины, однако в определенных условиях при длительном воздействии грибы плесени, по данным ЦНИИМОДа, могут вызывать серьезные разрушения древесины. Плесневые грибы поселяются на животных клеях и расстраивают соединения деталей изделий. Этот порок не допускается в древесине, используемой для изготовления тары под пищевые продукты.

Заболонные грибные окраски. В заболони свежесрубленной или сухостойной древесины часто образуются более или менее глубокие окраски (твердость древесины не снижается). Они возникают главным образом под действием деревоокрашивающих грибов. Поражение распространяется через торцы и боковую поверхность. На торцах круглых сортиментов оно наблюдается в виде радиальных клиновидных пятен; иногда встречается сплошная окраска заболони. На боковых поверхностях круглых сортиментов и в пиломатериалах окраски образуют полосы или вытянутые пятна.

Разновидности порока: синева – серая окраска с синеватыми или зеленоватыми оттенками и цветные заболонные пятна – окраски оранжевого, желтого, розового, светло-фиолетового и коричневого цвета. Если древесина под действием грибов окрашивается в бледные тона и текстура древесины хорошо видна, то такие окраски называются светлыми. Густые окраски, маскирующие текстуру древесины, называются темными.

В круглых лесоматериалах и пилопродукции различают поверхностные и глубокие окраски, распространяющиеся соответственно на глубину меньше или больше 2 мм. Кроме того, могут быть подслойные окраски, развивающиеся во внутренних слоях сортимента и не выходящие на поверхность.

В круглых лесоматериалах заболонные грибные окраски измеряют по глубине зоны поражения от боковой поверхности; по площади зоны поражения (в процентах от площади всего торца или одной заболони). В пилопродукции и шпоне измеряют глубину, длину и ширину или площадь зоны поражения. Наличие подслойных окрасок устанавливают выборочной торцовкой лесоматериалов.

Из заболонных окрасок наиболее распространена синева, поражающая древесину всех пород, но чаще хвойных; вызывается многими видами грибов. Оптимальная температура для большинства видов грибов синевы составляет 26–27 °С. Наиболее благоприятная влажность для развития грибов 35–80 %.

По исследованиям ЦНИИМОДа (С.Н. Горшин, Е.И. Мейер, И.Г. Крапивина и др.), проведенным на древесине сосны, некоторые из грибов синевы питаются только внутренним содержимым клеток, другие могут разрушать клеточную стенку. Так, гриб *Discula brunneo tingens* H. Meyer, действие которого на древесину ограничивается в основном разрушением торусов пор и паренхимных клеток сердцевинных лучей, снижает ударную вязкость на 6,5 %, а гриб *Ophiostoma pini*, вызывающий сильное разрушение вторичной оболочки трахеид и многочисленные ее прободения, – на 34 %.

Засинелая древесина в большинстве случаев отличается повышенной скоростью водопоглощения. Некоторые виды грибов синевы стимулируют развитие сильных дереворазрушающих грибов.

Вместе с тем воздействие грибов синевы на древесину, если оно не приводит к существенному снижению прочности, оказывается полезным для облегчения пропитки древесины антисептиками. По данным А.Т. Вакина, засинелая древесина ели (шпалы) пропитывается антисептиками значительно лучше, чем здоровая. Наличие синевы в балансах не оказывает влияния на выход целлюлозы и качество изготовляемой из нее бумаги.

Заболонные грибные окраски ухудшают вид древесины; темные окраски могут скрывать появление гнилей в начальной стадии их развития. Грибы, окрашивающие заболонь, могут разрушать клеи и лакокрасочные покрытия на древесине.

Побурение. При хранении свежесрубленной древесины лиственных пород (особенно березы, бука, ольхи) в теплое время года заболонь приобретает бурую окраску различной интенсивности и равномерности, иногда со слабо выраженными серыми или белесыми пятнами и полосами. Этот порок носит название п о б у р е н и е (прежнее название – задыхание).

Исследованиями ЦНИИМОД (И.А Чернцов) установлено, что побурение представляет собой явление, в котором совмещаются три различных по своей природе процесса, протекающих одновременно или последовательно. Во-первых, происходит закупорка водопроводящих путей, замедляющая испарение воды из древесины и преграждающая доступ в нее воздуха (раневая реакция живых клеток заболони). Во-вторых, по мере подсыхания древесины происходит отмирание живых клеток заболони, окисление их содержимого кислородом воздуха и появление бурой окраски древесины. В-третьих, на древесине поселяются грибы, что приводит к дальнейшему изменению ее цвета. Побурение предшествует заболонной гнили.

Побурение бревен обычно начинается с торцов и распространяется в глубь древесины вдоль волокон, при этом в первую очередь поражаются внутренние слои заболони с ослабленной жизнедеятельностью клеток, затем побурение захватывает всю заболонь. После отмирания коры побурение распространяется и с боковой поверхности бревен, продвигаясь языками в радиальном направлении к центру. Пиломатериалы, особенно круп-

ных сечений, также подвержены побурению, которое сосредоточено преимущественно в центральной зоне, еще не успевшей высохнуть. Побурение на пиломатериалах наблюдается в виде внутренних пятен и полос или сплошного поражения заболони. На обветренных поверхностях долго хранившихся пиломатериалов побурение бывает незаметно; для того чтобы обнаружить его, необходимо расколоть или распилить сортимент.

Побурение измеряют такими же способами, как и грибные заболонные окраски. По данным ЦНИИМОДа, при побурении у березы и бука прочность при статических нагрузках и твердость существенно не снижаются, однако ударная вязкость снижается довольно сильно (у бука до 30 %), а также ухудшается способность древесины к загибу. У бука в связи с затиллованностью сосудов уменьшается водопроницаемость. Побурение портит внешний вид древесины.

А.Т. Вакин показал, что наиболее надежно можно защитить от побурения свежезаготовленные лиственные кряжи при сохранении их влажности. Пиломатериалы должны высушиваться или пропариваться. Пропарка свежераспиленных буковых пиломатериалов одновременно облагораживает внешний вид древесины.

Заболонная гниль. В заболони срубленной или сухостойной древесины хвойных и лиственных пород под воздействием дереворазрушающих грибов появляется ненормальная окраска, твердость древесины при этом сохраняется или снижается. Заболонная гниль развивается при длительном неправильном хранении круглых лесоматериалов, а также пиломатериалов. Гниль наблюдается в виде пятен и полос, а иногда захватывает всю заболонь. У хвойных пород зоны поражения желтовато-бурого цвета. У лиственных пород гниль имеет чаще всего пеструю окраску, напоминающую рисунок мрамора (рис. 106); грязно-белые участки отграничены от бурых тонкими черными линиями; обычно следует за побурением. Зона поражения может иногда захватить ядро и спелую древесину (особенно у лиственных пород). При твердой гнили древесина лишь изменяет окраску, а переходя в мягкую – она становится более светлой, легкой, рыхлой и почти полностью теряет способность сопротивляться нагрузкам.

Заболонную гниль измеряют такими же способами, как и побурение. Даже твердая заболонная гниль, по данным ЦНИИМОДа, у хвойных пород (сосна, ель) снижает предел прочности при сжатии древесины вдоль волокон до 25–30 %, а при статическом изгибе (по данным ЛТА) – до 22 %. Водопоглощение и водопроницаемость увеличиваются. Заметно ухудшаются механические свойства и у пораженной древесины лиственных пород (береза, бук, граб), особенно ударная вязкость.

Наружная трухлявая гниль. Гниль возникает в заболони и ядре лесоматериалов всех пород вследствие поражения древесины сильными дереворазрушающими грибами при длительном неправильном ее хранении. Такая же гниль появляется при неблагоприятных условиях эксплуатации

деревянных элементов конструкций и изделий. Загнивание наблюдается преимущественно в наружных частях как заболонной, так и ядровой зоны сортимента или детали, охватывает все поперечное сечение или часть его и распространяется в глубь древесины. В некоторых случаях поражение может начинаться во внутренних слоях древесины, куда споры грибов проникают через глубокие наружные трещины. Древесина вначале окрашивается в светло-бурый цвет разных оттенков, затем темнеет, становится бурой или темно-коричневой. На древесине появляются продольные и поперечные трещины, она распадается на призматические кусочки, легко крошится и растирается в порошок, т. е. образуется типичная деструктивная гниль. На поверхности пораженной древесины нередко наблюдаются грибницы и плодовые тела (рис. 106). При хранении непросушенной древесины процесс ее разрушения продолжается.



Рис. 106. Ядрово-заболонная гниль с рисунком, напоминающим мрамор



Рис. 107. Наружная трухлявая гниль

Пораженная древесина имеет резко сниженные механические свойства и является опасным источником грибной инфекции для деревянных зданий и сооружений. Образование гнили в деревянных элементах зданий и сооружений происходит под действием домовых, столбовых, шпальных и других видов грибов. В зданиях на деревянных элементах, подвергающихся периодическому увлажнению за счет конденсации водяных паров воздуха, развиваются домовые грибы: настоящий домовый гриб *Serpula lacrimans* (Wulf. ex. Fr.) Bond., белый домовый гриб *Coriolus vaporarius* (Fr.) Bond. et Sing., пленчатый домовый гриб *Coniophora cerebella* (Pers.) Schroet и пластинчатый домовый гриб *Paxillus panuoides* Fr.

Домовые грибы обладают способностью сильно увлажнять древесину за счет воды, выделяющейся при разложении целлюлозы. Если эта вода не испаряется, она может вполне удовлетворить потребность грибов. Поэтому домовые грибы в замкнутых и плохо вентилируемых пространствах зданий могут переходить и на сухую древесину, вызывая постепенное ее увлажнение и разрушение.

Настоящий домовый гриб – наиболее опасный разрушитель древесины в постройках, поселяется на стенах, полах, перегородках. Оптимальная влажность для его развития 25–30 %, однако гриб может развиваться и при более высокой влажности (до 150 %), оптимальная температура 18–20 °С, возможно развитие грибов также при 2–35°С. Настоящий домовый гриб при благоприятных условиях развития может разрушить новое строение в 1–2 года.

Белый домовый гриб интенсивно развивается при оптимальной влажности древесины 40–60 % в сырых зданиях, в погребах, на чердачных конструкциях. Примерно в таких же условиях развивается пленчатый гриб; пораженная древесина имеет многочисленные мелкие трещины и распадается на более мелкие, чем при поражении настоящим домовым грибом, призматические кусочки. Пластинчатый гриб встречается в жилых домах, а также в шахтах и других подземных сооружениях. В открытых сооружениях древесину разрушают грибы, приспособленные к развитию в условиях периодического увлажнения. Наиболее распространенный представитель этой группы – столбовой гриб *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf. ex. Fr.) Karst. Грибы, приспособленные к развитию в условиях контакта с землей, поражают железнодорожные шпалы, основания телеграфных столбов и т.д.; характерный представитель их – шпальный гриб *Lentinus lepideus* (Buxb.) Fr.

§ 41. Биологические повреждения

Червоточина. Так называются повреждения древесины насекомыми. Порок встречается в свежезаготовленных лесоматериалах, а также в сухостойных и ослабленных деревьях в лесу.

На поверхности лесоматериалов видны круглые или овальные отверстия, бороздки или канавки. Основные разрушения производят не взрослые насекомые, а их личинки, использующие древесину и кору для своего питания. Древесину повреждают различные насекомые: жуки (усачи, златки, короеды, долгоносики, точильщики), рогохвосты (древесные осы), бабочки (древоточцы и стеклянницы), термиты и др. [21]. В большинстве случае лесные насекомые, закончив цикл развития во влажной древесине, после высыхания вторично ее не заселяют. При хранении насекомые повреждают в большей степени хвойные лесоматериалы. Насекомые, разрушающие древесину, интенсивно развиваются при теплой и сухой погоде.

Оптимальная температура, благоприятствующая жизнедеятельности насекомых, 18–24 °С, а относительная влажность воздуха 60–80 %.

Поверхностной называется червоточина, распространяющаяся на глубину не более 3 мм. Этот вид повреждения вызывают главным образом короеды. На поверхности древесины видны мелкие отверстия или ходы, образующие характерный рисунок (рис. 108,а).

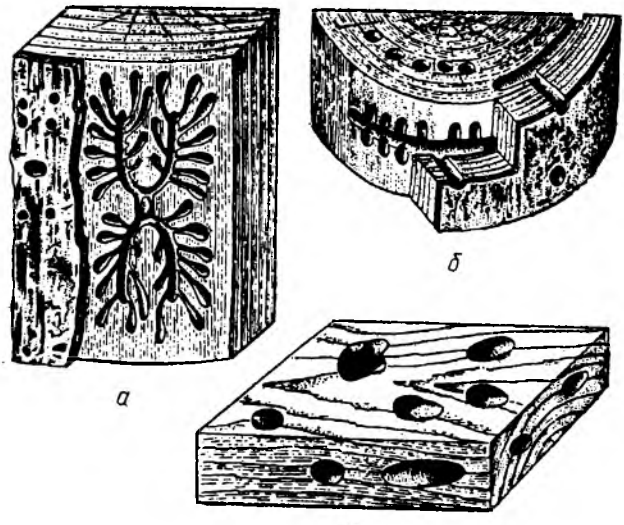


Рис. 108. Червоточина:
а – поверхностная; *б* – глубокая в круглых лесоматериалах;
в – глубокая в пилопродукции

Неглубокой называется червоточина, которая в круглых лесоматериалах распространяется на глубину до 15 мм, а в пилопродукции до 5 мм. Такие повреждения вызывают личинки некоторых усачей и златок.

Глубокой называется червоточина в виде ходов, пронизывающих круглые лесоматериалы на глубину более 15 мм (рис. 108,б), а пилопродукцию (рис. 108,в) – более 5 мм. Червоточину вызывают в хвойных деревьях черные хвойные усачи, древесинники и рогохвосты. В лиственных – различные усачи и другие насекомые. Глубокую червоточину подразделяют на некрупную и крупную с диаметром отверстий соответственно менее или более 3 мм. Сквозной называется червоточина, выходящая на две противоположные стороны сортимента.

В круглых лесоматериалах массовые неглубокие и глубокие червоточины измеряют по длине зоны поражения, а единичные – по их количеству на 1 м длины сортимента, в пиломатериалах и шпоне – по их количеству соответственно на 1 м длины и 1 м^2 площади или на весь сортимент.

Поверхностная червоточина не оказывает существенного влияния на физико-механические свойства древесины. При распиловке и лущении круглых лесоматериалов она обычно оказывается в отходах – горбылях, рейках и др. Однако короеды служат разносчиками спор грибов. Кроме того, короеды, нарушая целостность коры, облегчают проникновение воздуха и испарение воды, что создает условия для развития грибов. Неглубокая и глубокая червоточина в значительной мере нарушают целостность древесины и при большом количестве ходов резко снижает ее механические свойства.

Кроме рассматриваемых по ГОСТ 2140-81 разновидностей червоточины различают трухлявую червоточину, которая вызывается группой домовых вредителей, способных развиваться на сухой древесине: мебельным и домовым точильщиками, домовым усачом, термитами и др. При трухлявой червоточине количество глубоких ходов настолько велико, что древесина внутри превращается в трухлявую массу с большим содержанием буровой муки, в то время как с поверхности нет других повреждений, кроме входных и летных отверстий.

К трухлявой червоточине относят [56] и повреждения морскими древоточцами – моллюсками (корабельные черви) и рачками портовых сооружений и судов. В сваях и столбах ходы корабельного червя сначала идут перпендикулярно поверхности на глубину 10–30 мм, затем поворачивают и идут по годичным слоям вверх и вниз; при этом отдельные ходы никогда не пересекаются и не сливаются.

Повреждения древесины паразитными растениями. Порок представляет собой отверстия в пилопродукции, оставшиеся от жизнедеятельности паразитных растений. Вечнозеленые растения (омела) или растения с опадающими на зиму листьями (ремнецветник) получают от растения-хозяина в основном воду и растворенные в ней минеральные соли через присоски, которые проникают в древесину, нарушая ее целостность. Семена паразитов разносятся птицами. Омела встречается у многих лиственных и хвойных пород, ремнецветник – у дуба и каштана. Порок измеряют так же, как червоточину.

Повреждения птицами. В круглых лесоматериалах иногда наблюдаются небольшие, расположенные рядами, отверстия, которые представляют собой наклевы птиц (например, дятла). Повреждение птицами измеряют по глубине, ширине и длине. Порок, нарушая целостность древесины, увеличивает количество отходов при распиловке и лущении.

§ 42. Инородные включения, механические повреждения и пороки обработки

1. Инородные включения и обугленность. **Инородные включения.** В лесоматериалах встречаются тела недревесного происхождения – камни, проволока, гвозди, металлические осколки.

Обугленность. Это участки обгорелой и обуглившейся поверхности лесоматериалов, возникающие при лесных пожарах, сжигании порубочных остатков и т. д.

2. *Механические повреждения стволов деревьев и лесоматериалов.* Сюда входят повреждения **боковой** поверхности: о б д и р к о р ы у круглых лесоматериалов; к а р р а – повреждение ствола при подсочке (см. рис. 22), сопровождающееся засмолением древесины, характерна для круглых лесоматериалов (переходит в пилопродукцию); у тех же видов лесоматериалов встречается з а р у б и б а г о р н ы е н а к о л ы, а также в ы р ы в ы.

К **приторцовым** повреждениям относятся: о т щ е п, с к о л, с к о с п р о п и л а, к о з ы р е к – выступающий участок древесины.

3. *Дефекты обработки в пилопродукции.* В эту подгруппу входят дефекты, вызванные недостаточной или излишней обработкой: н е п р о ф р е з е р о в к а и н е д о ш л и ф о в к а – необработанные участки поверхности пилопродукции, подвергавшейся фрезерованию или шлифованию; в ы х в а т и п р о ш л и ф о в к а – участки, расположенные ниже основной фрезерованной или шлифованной поверхности. Сюда же относится о б з о л – участок боковой поверхности бревна, сохранившийся на обрезном пиломатериале. Различают обзол острый и тупой, занимающий соответственно всю или часть ширины кромки.

При повышенном трении инструмента появляется о ж о г древесины. Кроме того, имеются другие дефекты обработки древесины резанием: в о л н и с т о с т ь – неплоский пропил или неровности на поверхности пилопродукции, образующие волнистый профиль; б а х р о м а – сплошная или прерывистая лента пучков неполностью отделенных волокон и частиц древесины на ребрах сортимента, з а у с е н ц ы, з а д и р ы (у сучков, завитков и т. д.), в ы щ е р б и н ы и р в а н ы й т о р е ц.

4. *Дефекты обработки в пилопродукции и шпоне.* Р и с к и – повторяющиеся глубокие следы на поверхности от режущего инструмента; в о р с и с т о с т ь и м ш и с т о с т ь поверхности, выражающаяся в присутствии на ней часто расположенных соответственно неполностью отделенных волокон или пучков волокон (и мелких частиц древесины); в м я т и н а и ц а р а п и н а – от тупого или острого предмета; г р е б е ш о к – выступающий участок необработанной поверхности, образовавшийся из-за дефекта режущей кромки инструмента.

Два дефекта специфичны только для шпона: закорина – участок коры, сохранившийся на поверхности шпона, и рябь шпона, выражающаяся в часто расположенных, ориентированных вдоль волокон, мелких углублениях на поверхности.

Перечисленные пороки могут снижать стойкость свежезаготовленных лесоматериалов к загниванию и растрескиванию (обдир коры), затруднять их использование по назначению и увеличивать количество отходов (механические повреждения, обугленность, скос пропила, обзол, закорина), ухудшать качество поверхности (дефекты обработки резанием) и т. д.

§ 43. Покоробленности

Покоробленность. Этот порок представляет собой изменение формы пиломатериалов, возникающее при выпиловке, сушке и хранении.

Основные разновидности покоробленности: поперечная, продольная по пласти и кромке, а также крыловатость – рассмотрены в гл. 4 и показаны на рис. 29,а,д,е,ж.

Следует также отметить, что продольная покоробленность по пласти может быть простой – с одним изгибом и сложной – с несколькими изгибами.

Поперечную простую покоробленность, а также крыловатость измеряют по стреле прогиба или наибольшему отклонению поверхности сортимента от плоскости, как показано на рис. 29. Сложную продольную покоробленность по пласти измеряют стрелой прогиба на наиболее изогнутом участке сортимента. Покоробленность существенно затрудняет обработку и использование пиломатериалов.

ГЛАВА 8. СТОЙКОСТЬ И ЗАЩИТА ДРЕВЕСИНЫ

§ 44. Стойкость древесины

Древесина во время хранения и службы может разрушаться под действием физических, химических и биологических факторов. Способность древесины сопротивляться разрушению от действия указанных факторов называется ее стойкостью.

Стойкость против химических факторов имеет сравнительно ограниченное значение: она проявляется при соприкосновении древесины с кислотами, щелочами (деревянные чаны, цистерны и пр. на химических заводах) или с химически агрессивными газами (стропильные фермы); поведение древесины в этих случаях рассмотрено в гл. 6. Физические (главным образом температура и влажность среды) и биологические факторы действуют на древесину в большинстве случаев одновременно, причем разру-

шение древесины происходит преимущественно от воздействия биологических факторов (грибов).

Древесина одной и той же породы обладает различной стойкостью в зависимости от условий, в которых она эксплуатируется. В условиях, исключающих или крайне затрудняющих возможность развития грибов, древесина может сохраняться без разрушения весьма длительное время. Древесина долго сохраняется не только в сухих помещениях, но и на открытом воздухе. Примером этому могут служить церковь Лазаря Муромского (XIV в.) и другие памятники деревянной архитектуры, собранные ныне в музеях "Кижи" (Петрозаводск), "Малые Корелы" (Архангельск), в Костроме и др.

Под землей древесина также может довольно хорошо сохраняться. Об этом свидетельствуют найденные в Керчи части греческих саркофагов (IV – V вв. до н. э.). При раскопках древнего Новгорода (X в. н. э.) обнаружены мостовые. Ядровая древесина сосновых лаг этой мостовой, по данным В.Е. Вихрова (ИЛД), имела примерно такие же показатели механических свойств, как и современная древесина. Проведенные Ю.В. Вихровым и С.Ю. Казанской (БТИ) дальнейшие исследования археологической древесины показали, что степень ее разрушения, происходящего без участия грибов, зависит от породы. По убывающей стойкости древесины в этих условиях исследованные породы расположились в таком порядке: можжевельник, сосна, дуб, ольха, ясень, клен, береза. У малостойких пород существенно уменьшается содержание целлюлозы. Максимальная влажность археологической древесины липы и березы достигает 1000 %, а объемная усадка превышает усушку обычной древесины в 6–7 раз. Хорошо сохраняется древесина и под водой. Однако при неблагоприятных условиях службы (контакт с сырыми материалами, высокая влажность среды, переменная температура) она довольно быстро разрушается. В этом случае в древесине появляются многочисленные трещины, нарушающие ее целостность и способствующие заражению спорами грибов и их быстрому развитию.

Древесина различных пород, как показывают многочисленные наблюдения, при хранении и в службе разрушается с разной скоростью. В том, что древесина в зависимости от породы обладает различной стойкостью против биологических агентов, убеждают и результаты лабораторных исследований.

Существенно влияют на стойкость древесины против грибов содержащиеся в ней смолистые и ядовитые вещества. Так, стойкость древесины сосны выше, чем древесины ели и пихты, что объясняется различным содержанием смолы, а стойкость древесины дуба выше, чем ясеня из-за большего содержания дубильных и других экстрактивных веществ.

В пределах одной породы биостойкость зависит от плотности. По опытам Г.А. Арзуманяна потеря массы натуральной древесины заболони

сосны от поражения пленчатым грибом оказалась в 4 раза больше, чем у спрессованной древесины, плотность которой была вдвое выше.

С увеличением возраста стойкость древесины повышается. Сопротивление загниванию зависит от положения древесины в стволе. Как правило, ядро имеет большую стойкость, чем заболонь. Замечено также, что ядро у хвойных пород имеет повышенную стойкость в своих наружных зонах. Стойкость древесины из нижней части ствола выше, чем из верхней части.

Представление о сравнительной стойкости древесины различных пород дают так называемые полигонные испытания. Такого рода испытания проводятся в основном с целью определения эффективности различных средств защиты и установления сроков службы древесины в природных условиях. Образцы натуральной (и обработанной антисептиками) древесины размером 15×15×220 мм устанавливают рядами в землю в вертикальном положении так, чтобы снаружи находилась половина высоты образца. Ежегодно образцы извлекают из земли, обследуют их состояние и отмечают степень их разрушения. В табл. 51 приведены результаты восьмилетних испытаний природной стойкости древесины на полигоне Сенежской лаборатории ЦНИИМОДа (С.Н. Горшин и И.А. Чернцов). Плотность древесины, отобранной для испытаний, соответствовала средним значениям этого показателя для каждой породы; лишь у образцов лиственницы и ольхи плотность была ниже, а у ясеня – выше средних значений для соответствующих пород. Стойкость разных пород выражена в условных величинах (по отношению к стойкости древесины заболони липы).

51. Относительная стойкость к гниению древесины различных пород

Порода	Зона	Относительная стойкость	Порода	Зона	Относительная стойкость
I. Стойкая древесины					
Лиственница	Ядро	9,1	Ясень	Заболонь	4,6
Дуб	То же	5,2	Сосна	Ядро	4,6
Ясень	То же	4,9	Сосна	Заболонь	4,0
II. Среднестойкая древесина					
Пихта	Спелая древесина	3,8	Бук	Спелая древесина	3,3
Ель	То же	3,6	Ель	Заболонь	3,2
Пихта	Заболонь	3,4	Лиственница	То же	3,1
III. Малостойкая древесина					
Бук	Заболонь	2,5	Дуб	Заболонь	2,2
Граб	То же	2,4	Клен	То же	2,1
Вяз	Ядро	2,3	Береза	То же	2,0
IV. Нестойкая древесина					
Береза	Центральная зона	1,8	Ольха	Заболонь	1,1
Ольха	То же	1,5	Осина	То же	1,0
Осина	Спелая древесина	1,2	Липа	То же	1,0

Согласно европейскому стандарту EN 350-2:1994 все породы по стойкости древесины против грибов делятся на 5 классов. К очень стойким относятся: тик (Индия), эвкалипт (Австралия), гринхарт (Юж. Америка) и др.; к стойким – дуб, акация белая, тис, каштан, махагони (Юж. Америка) и др.; к умеренно стойким – сосна, грецкий орех, лжетсуга и др.; к малостойким – пихта, ель, вяз и др.; к нестойким – ольха, береза, тополь, бук и др. Эта классификация основана на стойкости ядровой древесины; заболонь относится к нестойкой древесине. В стандарте также дана классификация пород по стойкости древесины против насекомых и морских древоточцев.

§ 45. Способы и средства повышения стойкости древесины

Наиболее важное значение имеет повышение био- и огнестойкости древесины. Для защиты древесины от загнивания в службе применяются конструкционные и химические меры, заключающиеся в создании условий, неблагоприятных для развития дереворазрушающих грибов. Для нормальной жизнедеятельности грибов, как уже отмечалось, необходимо, чтобы влажность и температура находились в определенных диапазонах и было достаточно кислорода. Конструкционные меры направлены, главным образом, на создание неблагоприятного для грибов влажностного и температурного режима. На этом же основаны и способы защиты древесины при ее хранении. Так, затопление древесины на период хранения или дождевание (искусственное орошение) способствуют созданию в ней столь высокой влажности, что развитие грибов становится невозможным. Для сохранения высокой влажности древесины бревен на лесосеке их торцы обмазывают гидроизолирующими составами. Как меру защиты древесины от гниения можно рассматривать и ее сушку при условии, что в службе данная древесина не подвергнется увлажнению [24, 61].

Химические меры защиты заключаются в обработке древесины токсичными для грибов веществами – антисептиками. Защита древесины от возгорания достигается пропиткой ее химическими веществами – антипиренами или нанесением соответствующих покрытий. Введенные в древесину антипирены разлагаются с выделением негорючих газов, оттесняющих воздух от ее поверхности, или кристаллизационной (химически связанной) воды, снижающей температуру горящей древесины. Покрытие при нагревании плавится и обволакивает поверхность древесины пленкой, преграждающей доступ воздуха.

Антисептики должны удовлетворять следующим требованиям:
1) обладать высокой токсичностью к грибам; 2) хорошо проникать в древесину; 3) не ухудшать физико-механических свойств древесины, а также ее способность склеиваться и окрашиваться; 4) быть устойчивыми к вымыванию из древесины; 5) не корродировать металлы; 6) при соблюдении эле-

ментарных правил техники безопасности быть безвредными для людей; 7) быть доступными и дешевыми.

Всему комплексу этих требований не удовлетворяет ни один из современных антисептиков. В каждом конкретном случае выбирают антисептик, характеристика которого соответствует условиям службы древесины и способам ее защитной обработки. Так, например, опоры линий электропередачи, шпалы необходимо обрабатывать невымываемыми из древесины антисептиками; влияние антисептиков на окрашиваемость древесины в этом случае не имеет значения. Детали домов можно пропитать невымываемыми, но не ухудшающими внешнего вида древесины, антисептиками.

Перечисленным выше требованиям, за исключением токсичности к грибам, должны удовлетворять и антипирены. Они дополнительно должны обладать высокой огнезащитной способностью и не повышать существенно гигроскопичность древесины.

Кроме средств однонаправленного действия разработаны комплексные биоогнезащитные средства.

По способности древесины пропитываться защитными средствами отечественные породы можно разбить на три группы: легкопропитываемые, умеренно пропитываемые и трудно пропитываемые. К первой группе относят заболонь сосны, березы и бука. Ко второй группе – заболонь граба, дуба, клена, лиственницы европейской, липы, ядро сосны, осину, кедр, ольху. К третьей – ель, лиственницу сибирскую, пихту, спелую древесину бука, ядро ясеня и лиственницы европейской.

Для облегчения проникновения защитных средств в древесину труднопропитываемых пород применяют накалывание окоренных бревен, ультразвуковую обработку.

Необходимый биозащитный эффект обычно достигается введением в древесину сравнительно небольшого количества антисептиков, что не ухудшает ее физико-механических свойств. При огнезащите в древесину вводится значительно большее количество антипиренов; это может привести к заметному снижению показателей ее механических свойств.

Главная задача повышения биостойкости древесины – увеличение сроков ее службы. Для обеспечения заданного срока службы выбирают антисептик и способ пропитки, назначают величину поглощения и глубину пропитки. Непропитанные опоры линий электропередачи служат в среднем 5–10 лет. Если их пропитать каменноугольным маслом с поглощением 90 кг/м^3, срок службы опор будет продлен до 30 лет; при увеличении поглощения масла до 140 кг/м^3 можно получить срок службы 40–45 лет. Пропитка каменноугольным маслом шпал увеличивает длительность их службы с 3–5 до 25 лет.

Таким образом, защитная обработка древесины антисептиками и антипиренами, снижая затраты на ремонтные и восстановительные работы, потери от пожаров, способствует экономии древесины и сохранению наших лесных богатств.

ГЛАВА 9. ОСНОВНЫЕ ЛЕСНЫЕ ПОРОДЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Из составляющих лесной фонд России пород к числу основных относят породы, занимающие более 0,1% покрытой лесом площади: шесть хвойных и тринадцать лиственных.

Ниже приведена краткая характеристика этих пород*, произрастающих в России и сопредельных регионах бывшего СССР, а также нескольких других мало распространенных, но ценных или интересных по строению и свойствам пород. Средние показатели основных физико-механических свойств древесины указаны в соответствующих таблицах гл. 4 и 5. Для каждой из рассматриваемых в данной главе пород отмечены основные области их промышленного использования. Кроме отечественных приведены также и некоторые иноземные породы.

§ 46. Хвойные породы

Лиственница (*Larix*). Самая распространенная в России порода. На ее долю приходится 1/3 всей покрытой лесом площади и 1/3 запасов древесины нашей страны. Наибольшее хозяйственное значение имеют виды: лиственница даурская (гмелина) – *L. gmelinii* (Rupr.) Kazeneva, или *L .dahurica* Elw. et Henly., лиственница сибирская – *L.sibirica* Ledeb., и лиственница Сукачева *L. sukaczewii* Djil. По данным Л.К. Позднякова, на долю насаждений с преобладанием лиственницы даурской приходится 56 % площади, занимаемой лиственничными лесами; лиственницы сибирской 13,9 % и лиственницы Сукачева всего лишь 0,1 %.

Лиственница даурская широко распространена на Дальнем Востоке и Восточной Сибири. Лиственница сибирская произрастает в основном в Западной Сибири и частично в Восточной Сибири. Лиственница Сукачева встречается на севере европейской части России и северо-западе Сибири [12]. На Камчатке растет лиственница курильская (*L.kurilensis* Mayer). В Карпатах и Прибалтике произрастает лиственница европейская (*L.decidua* Mill.).

Древесина лиственницы имеет ядро красновато-бурого цвета, резко отграниченную узкую белую или слегка желтоватую заболонь, хорошо видимые годичные слои с четкой внутренней границей между ранней и поздней древесиной, малочисленные и мелкие смоляные ходы. Древесина обладает высокой плотностью и прочностью, малосучковата, стойка против гниения, имеет красивую текстуру. Однако из-за высокой плотности сплав лиственницы затруднен. Древесина лиственницы легко растрескивается

---

* Для большинства пород согласно СТ СЭВ 1263-78 "Лесоматериалы круглые. Промышленные древесные породы. Номенклатура" указаны русские и приоритетные латинские названия видов, иногда даны также более поздние названия, утвердившиеся в лесоводственной практике.

при сушке, раскалывается, труднее других хвойных пород обрабатывается на станках. Применяется в гидротехнических сооружениях, домостроении, спортивных сооружениях (дорожка Олимпийского велотрека в Москве), в виде шпал, рудничной стойки и т. д. Все шире используется лиственница в производстве мебели, паркета, фанеры, в гидролизной, целлюлозно-бумажной, лесохимической и других отраслях промышленности [8].

Сосна (*Pinus*) занимает около 1/6 площади всех лесов. Наиболее распространена сосна обыкновенная – *P. sylvestris* L. На севере она доходит до границы лесной зоны, на юге граничит с черноземной полосой, заходя в Крым и на Кавказ, простирается с запада на восток до Амура.

Древесина сосны имеет слегка розоватое ядро, которое со временем становится буровато-красным, широкую заболонь разного цвета (от желтоватого до розоватого), хорошо видимые годичные слои с достаточно четкой границей между ранней и поздней древесиной, довольно крупные и многочисленные смоляные ходы. Древесина средней плотности, достаточно высокой прочности и стойкости против гниения, хорошо обрабатывается. Применение древесины сосны очень разнообразно. Она используется в строительстве, машиностроении, мебельном производстве, железнодорожном транспорте, тарном производстве, для крепления горных выработок и др. Широко используется как сырье для химической переработки с целью получения целлюлозы, кормовых дрожжей; из сосны добывают живицу, хвою сосны используют для получения биологически активных веществ (см § 9).

Ель (*Picea*). Ель занимает примерно 1/8 часть покрытой лесом площади. Наиболее распространены два вида: ель обыкновенная – *P. abies*, (L.) Karst., или *P.excelsa* Link. и ель сибирская – *P. obovata* Ledeb. Первая из них произрастает на европейской части страны в такой же полосе, как и сосна; вторая – от Урала до Приморья и от 72° северной широты до Саян и Алтая. Значительно меньше распространены три вида, произрастающие преимущественно в горах: ель аянская – *P.ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Garr. на Дальнем Востоке, ель восточная – *P.orientalis* Link. на Западном Кавказе и ель Шренка – *P.schrenkiana* Fisch. et Mey. в горах Тянь-Шаня.

Ель – безъядровая спелодревесная порода. Древесина ели белая со слабым желтоватым оттенком. Годичные слои хорошо заметны. Смоляные ходы малочисленные и мелкие. По прочности, плотности и стойкости против гниения древесина ели несколько уступает сосне. Кроме того, она труднее обрабатывается из-за обилия сучков и повышенной твердости их. Однако древесина ели однородного строения, малосмолиста, имеет устойчивый белый цвет, длинные волокна. Применяется в тех же областях, что и сосна, но особенно в целлюлозно-бумажной промышленности. Кроме того, ее используют в производстве музыкальных инструментов (для изготовления дек). Из коры ели получают дубильные вещества.

Пихта (*Abies*). Наиболее распространены: пихта сибирская – *A. sibirica* Ledeb., произрастающая на северо-востоке европейской части России, Урале, в лесной зоне Сибири; пихта белокорая – *A.nephrolepis* Maxim. – на Дальнем Востоке; пихта сахалинская – *A. sachalinensis* Mast.; пихта кавказская – *A. nordmanniana* Spach.; пихта европейская белая – *A. alba* Mill. – в Карпатах.

Пихта – безъядровая спелодревесная порода. Древесина пихты очень похожа по внешнему виду на древесину ели, от которой она отличается отсутствием смоляных ходов.

Наиболее высокие показатели свойств у древесины пихты кавказской. Несколько уступает ей, по данным Б.И. Цыбыка, древесина пихты европейской. Древесина обоих видов используется так же , как ель. Другие виды пихты в связи с пониженной прочностью древесины для изготовления некоторых изделий не допускаются. Из хвои получают пихтовое масло.

Кедр (*Pinus*). В род (*Pinus*) кроме сосны обыкновенной входят и другие виды, в частности известные под названием "кедр". В отечественных лесах произрастают кедр сибирский или сосна кедровая сибирская – *P. sibirica* Du Tour на севере-востоке европейской части страны, в Сибири почти до Забайкалья и сосна кедровая корейская – *P. koraiensis* Sieb. et Zucc. в южной части Дальнего Востока, а также сосна малорослая или кедровый стланик – *P. pumila* Regel. в горах Восточной Сибири и Дальнего Востока. В Карпатах произрастает сосна кедровая европейская – *P. cembra* L.

Древесина имеет ядро светло- или желтовато-розового цвета, нерезко отграниченное от широкой, желтовато-белой заболони. Годичные слои заметны, переход от ранней древесины к поздней постепенный, растушеванный. Смоляных ходов у кедра меньше, чем у сосны, но они более крупные.

Древесина кедра мягкая, хорошо обрабатывается в разных направлениях, по прочности находится между елью сибирской и пихтой сибирской, однако более стойка к гниению, чем древесина обеих пород. Характерная область применения кедра – карандашное производство. Кроме того, кедр применяется в тех же областях, что сосна и ель. Из кедровых орехов добывают масло для пищевых и технических целей.

Можжевельник (*Juniperus*). Большинство можжевельников – кустарники. Наиболее распространены несколько видов арчи. Кара-арча – *J. polycarpos* C. Koch. и саур-арча *J. semiglobosa* Regel. произрастают в горах Туркмении и Киргизии в виде крупных кустарников или небольших деревьев.

Арча, так же как и другие можжевельники, относятся к ядровым породам с узкой заболонью, ядро коричневое, годичные слои волнистые, смоляных ходов нет, сердцевинные лучи не видны. Древесина арчи имеет плотность 500–700 кг/м^3, хорошо обрабатывается режущими инструментами; можно использовать для получения карандашной дощечки, однако она

сильно коробится; в горах применяется для строительства. Арчовое масло используют в медицине для лечения кожных и других заболеваний.

Тис (*Taxus*) – очень древняя порода. В настоящее время встречаются два вида: тис ягодный или европейский – *T. baccata* L., произрастающий в горах Кавказа и Крыма, и тис остроконечный, дальневосточный – *T. cuspidata* Sieb. et Zucc., распространенный в Приморском крае и на Сахалине. Древесина тиса имеет красно-бурое ядро и резко отграниченную узкую желтовато-белую заболонь. Годичные стволы извилистые. Смоляных ходов нет, сердцевинные лучи не видны. Древесина имеет красивую текстуру и ценится как отделочный материал, из нее изготавливают высококачественную мебель. Древесину капов применяют для изготовления художественных поделок, строганого шпона.

§ 47. Лиственные породы

На долю лиственных пород приходится 1/5 часть площади лесов нашей страны. Тем не менее на этой площади произрастает много разнообразных пород. Лиственные породы по хозяйственному значению пока намного уступают хвойным. Однако для районов Центра европейской части России характерен процесс смены древесных пород: после рубки вместо хвойных появляются лиственные (береза, осина и др.). Значение древесины лиственных пород для этих районов возрастает. Как уже было указано (гл. 5), согласно СТ СЭВ 1203-78 все лиственные породы по твердости древесины делятся на твердые и мягкие. В следующем далее обзоре породы (виды), древесина которых отнесена к мягкой, отмечены значком*.

Кольцесосудистые породы

Дуб (*Quercus*). Из 19 видов, произрастающих в европейской части региона распространен дуб черешчатый, или летний, – *Q. robur* L. Ареал имеет форму клина с основанием на линии С.-Петербург – Одесса и острием, выходящим к Южному Уралу. На Дальнем Востоке преобладает дуб монгольский – *Q.mongolica* Fisch.

Древесина дуба имеет ядро темно-бурого или желтовато-коричневого цвета и узкую желтовато-белую заболонь, на поперечном разрезе в ранней зоне годичного слоя видны крупные сосуды, а в темной поздней древесине – светлые радиальные пламевидные образования из мелких сосудов и окружающей их паренхимы. Годичные слои и широкие (настоящие) сердцевинные лучи хорошо заметны на всех разрезах. Древесина прочная, стойкая против гниения, хорошо гнется, имеет красивую текстуру и находит многообразное применение: в виде паркета, строганого шпона для отделки изделий, в мебельной промышленности, машиностроении, в тарном (бочки для вина и пива) и дубильно-экстрактном производствах.

Ясень (*Fraxinus*). В регионе произрастает 14 видов ясеня. Наибольшее распространение в средней и южной полосе европейской части страны имеет ясень обыкновенный – *F. excelsior* L., а на Дальнем Востоке – ясень маньчжурский – *F. mandshurica* Rupr.

Ясень – ядровая порода с белой, слегка желтоватой или розоватой заболонью и светло-бурым ядром. На поперечном разрезе в поздней древесине скопления мелких сосудов и паренхимы образуют беспорядочно расположенные белые точки или черточки (у границы слоя). Годичные слои хорошо видны. Сердцевинные лучи незаметны. Древесина ясеня по свойствам близка к древесине дуба, поэтому и область ее применения примерно такая же. Древесина ясеня обладает высокой ударной вязкостью, хорошо гнется, не дает отщепов, используется в производстве спортивного инвентаря (теннисные ракетки, хоккейные клюшки и др.).

Вяз, ильм, берест (*Ulmus*). Из шести видов *Ulmus* наибольшее значение имеют три. Вяз гладкий – *U. laevis* Pall. произрастает только в европейской части страны преимущественно в средней полосе. Вяз шершавый, или ильм горный – *U. glabra* Hudson распространен там же, где и вяз гладкий, а также на Дальнем Востоке.

Берест (карагач), или вяз полевой – *U. carpinifolia* Rupr. ex Suckow (*U. foliacea* Gilib.) растет на юге европейской части региона и в Средней Азии.

Ильмовые – ядровые породы. Годичные слои хорошо видны. На поперечном разрезе в поздней древесине видны светлые волнистые непрерывные линии, направленные вдоль годичных слоев (у вяза, ильма) или под углом к ним (у береста). Древесина вяза имеет сравнительно широкую желтовато-белую заболонь, постепенно переходящую в светло-бурое ядро. Сердцевинные лучи у вяза заметны только на радиальном разрезе в виде коротких штрихов, они имеют одинаковый цвет с окружающей древесиной и обнаруживаются лишь по блеску. У древесины ильма ядро темно-бурое, заболонь узкая. Сердцевинные лучи плохо видны на поперечном разрезе, но на радиальном разрезе, выделяясь более темным цветом и блеском, они создают характерную рябоватость. Берест по внешнему виду древесины очень похож на ильм.

Древесина вяза, ильма и береста примерно одинакова по свойствам и применяется в одних и тех же областях: для производства мебели, строганого шпона, в машиностроении, обозном производстве. Древесина ильма и береста, обладающая красивой текстурой, используется преимущественно как отделочный материал, а также для художественных поделок (капы бéреста).

Каштан посевной, съедобный – *Castanea sativa* Mill. произрастает на Кавказе, главным образом в западной его части. Каштан* – ядровая порода с узкой серовато-белой заболонью и серовато-бурым ядром. Мелкие сосуды в поздней зоне годичных слоев образуют радиальные группы в ви-

де язычков пламени. Сердцевинные лучи узкие, незаметные. Древесина каштана по строению и внешнему виду очень похожа на древесину дуба, отличаясь от нее отсутствием широких сердцевинных лучей. Однако по физико-механическим свойствам древесина каштана значительно уступает древесине дуба: прочность при сжатии и статическом изгибе на 30–40 %, твердость в 2 раза, ударная вязкость в 2,5 раза меньше.

Малые запасы древесины каштана ограничивают ее применение (клепка для бочек под вино, строганый шпон, мебель). Древесина (и кора) богата дубильными веществами, поэтому все отходы используют для дубильно-экстрактного производства.

Бархатное дерево, или бархат амурский, – *Phellodendron amurense* Rupr. произрастает на Дальнем Востоке и в южной части Сахалина. Бархатное дерево* – ядровая порода с узкой заболонью желтого цвета, резко отграниченной от коричневато-бурого ядра. В поздней зоне годичных слоев мелкие сосуды образуют группы в виде коротких черточек и дугообразных линий, направленных параллельно границе слоя. Сердцевинные лучи узкие, малозаметные. Древесина бархатного дерева по строению и внешнему виду очень похожа на древесину ясеня, отличаясь от него узкой желтой заболонью и более темным цветом ядра.

Физико-механические свойства древесины бархатного дерева заметно ниже, чем у ясеня обыкновенного: плотность и прочность при сжатии вдоль волокон меньше на 30 %, прочность при статическом изгибе на 60 %, ударная вязкость меньше почти в 2 раза. Благодаря легкости обработки и красивому внешнему виду древесина применяется в производстве мебели и строганого шпона. Кора отличается сильно развитым пробковым слоем и идет на изготовление укупорочной пробки мелких размеров.

Фисташка (*Pistacia*). Фисташка туполистная, или кевовое дерево, – *P. mutica* Fisch. et May. произрастает в Закавказье и Крыму, а фисташка настоящая – *P. vera* L. – в Средней Азии.

Фисташка относится к ядровым породам с широкой желтовато-белой заболонью, резко отграниченной от ядра, которое в свежесрубленном состоянии имеет зеленовато-бурый цвет. При камерной сушке или длительном хранении ядро становится красновато-бурым. Крупные сосуды в заболони и ядре закупорены тиллами. Мелкие сосуды в поздней зоне годичных слоев образуют косо-радиальные линии. Сердцевинные лучи очень узкие, незаметные. В древесине по сердцевинным лучам проходят горизонтальные камедно-смоляные ходы, а в коре имеются вертикальные ходы.

Древесина очень плотная, твердая, износостойкая, трудно раскалывается, маслянистая на ощупь; применяется в машиностроении.

Рассеяннососудистые породы

Береза (*Betula*). Из 70 видов, произрастающих в регионе, наибольшее распространение и значение имеют два: береза повислая* – *B. pendula*

Roth., или бородавчатая*, – *B. verrucosa* Ehrh., названная так из-за бородавок на молодых побегах, и береза пушистая* – *B. pubescens* Ehrh., получившая свое название от опушенных побегов и листьев.

Область распространения обоих видов широка, она охватывает более 2/3 площади всех лиственных пород страны. На севере доходит до тундры, на юге – до Крыма и Кавказа, с запада на восток до Яблонового хребта, причем в более северных и восточных районах растет береза пушистая.

Из дальневосточных видов отметим березу желтую, или ребристую*, – *B. costata* Trautv., произрастающую в бассейнах Амура и Уссури; березу Эрмана – *B. ermani* Cham., растущую на каменистых россыпях Сахалина, Камчатки, Охотского побережья, хребта Сихотэ-Алинь; березу черную, или даурскую, –*B. dahurica* Pall., в Забайкалье и Приморском крае; березу железную – *B. schmidtii* Regel. в Приморском крае. Темнокорые березы Восточной Сибири и Дальнего Востока часто называют – каменная береза.

Береза – безъядровая порода. Древесина белая с желтоватым или красноватым оттенком. Годичные слои заметны плохо. Сердцевинные лучи видны лишь на строго радиальных разрезах (расколах). Для древесины березы повислой характерны сравнительно высокие прочность, твердость, ударная вязкость, но малая стойкость к гниению.

Древесина березы железной по плотности и прочности в 1,5 раза, а по твердости в 2,5 раза превосходит березу повислую и пушистую. Древесина других видов каменной березы также имеет более высокие показатели физико-механических свойств.

Древесина березы повислой и пушистой находит многообразное применение и прежде всего для выработки лущеного шпона и фанеры, а также для изготовления ружейных ложь, лыж и других изделий. Береза может применяться для производства строительных деталей, древесностружечных и древесноволокнистых плит, целлюлозы, паркета, получения фурфурола и других лесохимических продуктов. Березовые дрова служат сырьем для пиролиза и углежжения. Древесина карельской березы и капов используется как декоративный материал. Древесина железной березы используется в машиностроении.

Осина обыкновенная – *Populus tremula* L. Находится на втором месте по занимаемой площади среди лиственных пород (1/7 этой площади) произрастает почти повсеместно.

Осина* – безъядровая порода. Древесина белого цвета с зеленоватым оттенком. Годичные слои заметны слабо. Сердцевинные лучи не видны. Древесина осины имеет однородное строение, легко лущится, пропитывается и не дает сильно коптящего пламени, поэтому она служит основным сырьем для спичечной промышленности, используется в сельском строительстве (колодцы, погреба, кровельная дрань и т. д.). Может быть также использована для производства древесноволокнистых плит, целлюлозы,

картона, фанеры, в лесохимии и других отраслях. Ограничивает применение осины часто встречающаяся в растущих деревьях ядровая гниль.

Бук (*Fagus*). В рассматриваемом регионе произрастает преимущественно бук восточный – *F. orientalis* Lipsky наКавказе и в Крыму, а также бук лесной, или европейский, – *F. sylvatica* L. в Карпатах.

Бук – безъядровая порода. Древесина белая с желтоватым или красноватым оттенком. Годичные слои хорошо видны. Сердцевинные лучи широкие, на радиальном разрезе они имеют вид блестящих полосок, а на тангенциальном – коричневатых чечевичек, создающих характерный крапчатый рисунок. Древесина бука имеет высокую прочность, красивую текстуру (особенно на радиальном разрезе), хорошо гнется. Находит многообразное применение (строганый шпон, паркет, гнутая мебель, детали машин и др.), используется в лесохимии.

Липа (*Tilia*). Из произрастающих в регионе видов отметим липу сердцевидную, или мелколистную, – *T. cordata* Mill., которая растет в средней и южной полосе европейской части региона, Западной Сибири, а также в Крыму и на Кавказе; липу крупнолистную – *T. platyphyllos* Scop., растущую только на Кавказе; липу амурскую – *T. amurensis* Rupr. – на Дальнем Востоке. По распространенности липа занимает 4 место (после березы, осины и дуба) среди лиственных пород России.

Липа* – безъядровая порода. Древесина белая с легким розоватым оттенком. Годичные слои слабо заметны лишь на поперечном и тангенциальном разрезах, узкие сердцевинные лучи видны на поперечном и радиальном разрезах. Древесина имеет однородное строение, мягкая, легко режется, мало трескается и слабо коробится; используется для изготовления чертежных принадлежностей, моделей для литья, карандашей, резных изделий, игрушек, тары.

Ольха (*Alnus*). Из 12 видов наибольшее значение имеют: ольха клейкая, или черная, – *A. glutinosa* (L.) Gaertn., произрастающая на большей части европейской территории страны и в Западной Сибири; ольха серая, или белая, – *A. incana* (L.) Moench ., растущая в европейской части и широко распространенная в Западной Сибири; ольха сибирская, произрастающая восточнее реки Оби.

Ольха* – безъядровая порода. Древесина ее в свежесрубленном состоянии белого цвета, но на воздухе она приобретает красновато-бурую окраску. Годичные слои заметны слабо, сосуды не видны. Редкие ложношироские сердцевинные лучи видны на всех разрезах. Часто встречаются сердцевинные повторения. Древесина ольхи мягкая, однородная по строению, применяется в фанерном, столярно-мебельном производстве и для изготовления ящичной тары.

Тополь (*Populus*) – род, который объединяет 50 видов, произрастающих в данном регионе, в том числе и рассмотренную отдельно осину. Наиболее широко распространены тополь черный, или осокорь, –

P. nigra L. и тополь белый – *P. alba* L. Оба вида произрастают в средней и южной полосе европейской части страны, Западной Сибири до Саян, в Средней Азии.

Тополь* – быстрорастущая ядровая порода с широкой заболонью белого цвета, нерезко отграниченной от ядра светло-бурого или желтовато-бурого цвета. Годичные слои широкие, слабозаметные. Сосуды мелкие, сердцевинные лучи очень узкие. Древесина у тополя мягкая, малостойкая против гниения. Применяется в производстве целлюлозы и бытовых изделий.

Граб обыкновенный (*Carpinus betulus* L.) – наиболее распространенный из четырех видов этого рода, произрастает на Кавказе, в Карпатах, Крыму, юго-западных и западных зонах региона.

Граб – безъядровая порода. Древесина серовато-белая. На поперечном разрезе заметны волнистые годичные слои и хорошо видны светлые, слегка изогнутые ложноширокие сердцевинные лучи. Древесина граба отличается высокой твердостью, износостойкостью, но часто коробится и растрескивается. Применяется в основном для изготовления деталей машин.

Клен (*Acer*). В рассматриваемом регионе произрастает 25 видов. Среди них: клен платановидный, или остролистный, – *A. platanoides* L. растет главным образом в средней полосе европейской части страны, а также на Кавказе; клен полевой – *A. campestre* L. преимущественно на Украине; клен ложноплатановый, или белый явор, – *A. pseudoplatanus* L. растет на Западном Кавказе и Украине; клен моно или мелколистный – *A. mono* Maxim., клен маньчжурский – *A. mandshuricum* Maxim. и другие – на Дальнем Востоке.

Клен – безъядровая порода. Древесина у явора блестящая, белая, у остальных видов – с красноватым или буроватым оттенком. Годичные слои заметны на всех разрезах. Сердцевинные лучи особенно хорошо видны на радиальном разрезе, создавая характерную рябоватость. Клены имеют твердую, плотную древесину с прочностью несколько большей, чем у дуба (особенно у кленов остролистного и мелколистного), и красивой текстурой. Применяется в мебельном производстве, для изготовления деталей машин, корпусов музыкальных инструментов и т. п. Особо ценится строганый шпон со свилеватой текстурой из древесины ствола и капов.

Ива (*Salix*). В регионе произрастает около 120 видов, из них древовидными являются: ива белая или ветла, – *S. alba* L., произрастающая в средней и южной полосе европейской части страны и в Западной Сибири; ива ломкая (верба) – *S. fragilis* L., заходящая несколько далее на север, чем ветла, и некоторые другие виды.

Ива* – быстрорастущая порода, ядровая, с широкой белой заболонью, нерезко отграниченной от буровато-розового ядра. Годичные слои и сердцевинные лучи заметны слабо. Сосуды мелкие. По свойствам древеси-

на ивы близка к липе. Используется для изготовления плетеных изделий; кора дает дубильные вещества.

Орех (*Juglans*) – из произрастающих в регионе видов следует отметить: орех грецкий – *J. regia* L. на Кавказе и в Средней Азии, а также орех маньчжурский – *J. mandshurica* Maxim. на Дальнем Востоке. По механическим свойствам древесина ореха маньчжурского значительно уступает ореху грецкому.

Древесина ореха имеет ядро коричневато-серой неравномерной окраски, нерезко отграниченное от широкой сероватой заболони. Видны крупные сосуды. Годичные слои и сердцевинные лучи заметны слабо. Древесина отличается высокими декоративными свойствами, хорошо обрабатывается; используется в виде строганого шпона (особенно ценится шпон из капов), идет на ложи охотничьих ружей и другие изделия.

Платан восточный, или чинар, – *Platanus orientalis* L. – наиболее распространенный вид платанов, произрастает в Средней Азии, встречается на Кавказе; ядровая порода с широкой заболонью сероватого цвета, нерезко отграниченной от красновато-бурого ядра, годичные слои заметны слабо, сосуды мелкие, незаметные, сердцевинные лучи широкие, хорошо видны на всех разрезах, на радиальном разрезе они образуют характерную текстуру. Древесина платана используется в мебельном производстве как отделочный материал, а также для изготовления художественных и бытовых изделий.

Груша обыкновенная – *Pyrus communis* L. – один из 40 видов, произрастает в диком состоянии в средней и южной полосе европейской части страны, в Крыму и на Кавказе. Безъядровая порода с древесиной розовато-желтовато-белого или буровато-красного цвета; сосуды очень мелкие, годичные слои и сердцевинные лучи едва видимы. Древесина плотная, твердая, хорошо обрабатывается, мало коробится и растрескивается. Используется для изготовления мебели, музыкальных инструментов, чертежных принадлежностей и других целей.

Самшит вечнозеленый – *Buxus sempervirens* L. произрастает на Черноморском побережье Кавказа, а также в Крыму. Безъядровая порода со светло-желтой, матовой, очень плотной и твердой древесиной; годичные слои узкие, слегка волнистые; сосуды и сердцевинные лучи незаметные. По физико-механическим свойствам древесина самшита близка к грабу. Используется для духовых музыкальных инструментов, резных и токарных художественных изделий.

Железное дерево (парротия персидская) – *Parrotia persica* С.А. Меу. произрастает около Ленкорани (южное побережье Каспийского моря). Безъядровая порода с древесиной бледно-розового цвета, со временем приобретает коричневатые оттенки. Годичные слои плохо заметны. Сердцевинные лучи можно различить только на радиальном разрезе. Древесина

очень прочная и твердая, по свойствам напоминает самшит. Используется в местных условиях как конструкционный и поделочный материал.

Рябина обыкновенная – *Sorbus aucuparia* L. широко распространена в лесной зоне региона. Ядровая порода, с широкой красновато-белой заболонью и красновато-коричневым ядром. Годичные слои хорошо заметны. Сосуды мелкие. Сердцевинные лучи едва видны на радиальном разрезе. Обладает характерным блеском. По механическим свойствам древесина рябины несколько уступает буку. Используется для изготовления рукояток к ударным инструментам, токарных изделий.

Лещина обыкновенная, или орешник*, – *Corylus avellana* L. – древовидный кустарник, произрастает в тех же областях, что и дуб летний. Безъядровая порода, древесина белого цвета со слабым блеском. Годичные слои заметны плохо. Сосуды мелкие, невидимые. Сердцевинные лучи узкие и ложноширокие, иногда изогнуты на поперечном разрезе. Древесина лещины по физико-механическим свойствам несколько превосходит березу; из лещины изготовляют деревянные обручи, охотничий порох, рисовальные угли.

§ 48. Иноземные породы

Ниже приводится краткая характеристика наиболее интересных иноземных пород.

Секвойядендрон (*Sequoiadendron*) и **секвойя** (*Sequoia*). Каждый род имеет по одному виду. Оба произрастают в Калифорнии (США), главным образом в заповедниках. Секвойядендрон гигантский – *S.giganteum* (Lindl.) Buchh. достигает огромных размеров: известны деревья высотой до 120 м при диаметре в комле 15 м и возрасте около 6000 лет. Не уступает по размерам и секвойя вечнозеленая – *S. sempervirens* Endl., которая разводится, хорошо растет и плодоносит на Черноморском побережье Кавказа.

Секвойя и секвойядендрон – хвойные ядровые породы с узкой белой заболонью. Ядро от светло-вишневого до красновато-коричневого цвета. Годичные слои хорошо видны благодаря более темной и плотной поздней древесине. Ранняя древесина рыхлая, мягкая. Смоляных ходов не имеет, но содержит многочисленные смоляные клетки, собранные в вертикальные ряды. Сердцевинные лучи однорядные.

По физико-механическим свойствам секвойя довольно близка к ели, но превышает ее по стойкости против гниения. Применяется в мебельном производстве, для внутренней отделки вагонов, кают, в градирнях, силосных башнях, в строительстве мостов, эстакад.

Лжетсуга тисолистная (дугласия) – *Pseudotsuga taxifolia* Britt. или лжетсуга Мензиса – *P. menziesii* (Mirb.) Franco. Произрастает на западе Северной Америки, достигает высоты 115 м и 5 м в диаметре; быстрорастущая порода, доживает до 1000 лет. Культивируется на Украине, Белоруссии, в Прибалтике, на Черноморском побережье Кавказа.

Лжетсуга – хвойная порода с узкой желтоватой заболонью, ядро розовато-красного или желтовато-бурого цвета, обладает запахом резины. Годичные слои хорошо видны, переход от ранней зоны к поздней резкий. Смоляные ходы мелкие. Сердцевинные лучи многочисленные, однорядные и многорядные (включают до пяти рядов клеток по ширине и содержат узкий смоляной ход). По физико-механическим свойствам древесина лжетсуги приближается к сосне. Используется для шпал, строительных сортиментов, применяется в судостроении, производстве мебели, фанеры и т. д.

Акация белая – *Robinia pseudoacacia* L. Эта порода родом из Северной Америки, завезена в Европу в 1601 г. Разводится и хорошо растет на Украине, Кавказе, Крыму, а также в Средней Азии.

Белая акация – ядровая кольцесосудистая порода с очень узкой заболонью желтоватого цвета, резко отграниченной от зеленовато-серого или желтовато-серого ядра. Ранняя зона годичных слоев занята кольцом крупных сосудов; мелкие сосуды в поздней зоне образуют группы в виде точек, черточек или коротких извилистых линий; сосуды закупорены тиллами. Годичные слои хорошо видны на всех разрезах. Сердцевинные лучи узкие, но заметные. Древесина белой акации обладает красивым цветом и текстурой, высокой твердостью, прочностью и стойкостью против гниения. По физико-механическим свойствам она стоит значительно выше дуба и ясеня. Используется для изготовления паркета, мебели.

Шелковица, или тутовое дерево, (*Morus*). Два вида: шелковица белая – *M. alba* L. и черная – *M. nigra* L., широко культивируются в Закавказье и Средней Азии ради листьев, являющихся кормом шелковичным червям.

Шелковица – кольцесосудистая порода с очень узкой (3–5 годичных слоев) желтовато-белой заболонью, резко отделяющейся от красновато-бурого ядра; от действия света древесина темнеет и становится темно-бурой. Годичные слои хорошо видны; сосуды ранней зоны крупные, часто закупорены тиллами белого цвета; в поздней зоне мелкие сосуды и паренхимные клетки вначале образуют небольшие группы в виде светлых точек, а в широких слоях, ближе к наружной границе, – короткие черточки, параллельные слою. Сердцевинные лучи узкие, но довольно хорошо заметные, на поперечном разрезе светлее окружающей древесины. Древесина твердая, тяжелая, с красивой текстурой, цветом и блеском, применяется для бытовых и художественных изделий.

Эвкалипт (*Eucalyptus*). Родина – Австралия и Океания; насчитывается более 500 видов. Отдельные виды дают деревья гигантских размеров, достигающие высоты 150 м. Эвкалипты отличаются большой скоростью роста. На Черноморском побережье Кавказа было испытано более 150 видов; наиболее морозоустойчивым оказался эвкалипт Дальримпля – *Eucalyptus dalrympleana* Maiden. По данным В.С. Холявко в возрасте 40 лет деревья этого вида достигали высоты 31,5 м и имели диаметр 136 см.

Эвкалипт – ядровая рассеянно-сосудистая лиственная порода; заболонь светлая, ядро бурого цвета разных оттенков (коричневого, красновато-коричневого). Годичные слои заметны только на поперечном разрезе. Сосуды мелкие, образуют группы в виде коротких линий под углом к границе слоя; сердцевинные лучи узкие, простым глазом не заметные. Полости сосудов заполнены тиллами и скоплениями ядровых веществ желто-бурого цвета. Волокна либриформа толстостенные, полости их заполнены содержимым темного цвета. Сердцевинные лучи многочисленные, однородные, преимущественно однорядные, простым глазом не различимые.

Физико-механические свойства древесины эвкалипта зависят от ботанического вида, в большинстве случаев плотность сухой древесины 700–900 кг/м^3; древесина обладает высокой прочностью и биостойкостью.

Древесина эвкалиптов у себя на родине имеет широкое применение: в вагоностроении, строительстве (столбы, шпалы, торцовые мостовые, подводные сооружения); из листьев получают ценные эфирные масла.

Тик, или тектона великая, – *Tectona grandis* L. Произрастает в Индии, Вьетнаме и других странах Южной и Юго-восточной Азии. Ядровая лиственная порода со светло-бурой узкой заболонью и ядром от желто- до темно-бурого цвета. Годичные слои довольно хорошо заметны, на поперечном разрезе их границы часто бывают волнисты. Сердцевинные лучи узкие, слабо заметны. Годичный слой начинается крупными сосудами, расположенными по одному, реже по два ряда; диаметр сосудов уменьшается по направлению к внешней границе годичного слоя. Древесина маслянистая на ощупь и обладает запахом старой кожи.

Древесина тика плотная, довольно твердая и прочная, хорошо сопротивляется истиранию, обладает высокой стойкостью против гниения, кислот и щелочей, не корродирует металлы. По физико-механическим свойствам она близка к древесине березы повислой. Широко применяется в судостроении и для портовых сооружений, а также для изготовления химической аппаратуры.

Красное дерево. Под этим названием в международной торговле фигурирует ряд древесных пород, дающих древесину красного цвета с различными оттенками. Наибольшей известностью пользуется свиетения краснодеревная, или махагони, – *Swietenia mahagoni* Jacq., произрастающая в Центральной Америке. Махагони – ядровая рассеянно-сосудистая лиственная порода с узкой белой заболонью. Ядро буровато- или коричневато-красное, с окраской разной интенсивности. Годичные слои слабо заметны на поперечном разрезе по светлым граничным линиям. Сердцевинные лучи узкие, слабо заметные, на тангенциальном разрезе расположены горизонтальными рядами или ярусами. Сосуды довольно крупные, собраны в небольшие радиальные группы по два-три вместе. По физико-механическим свойствам древесина махагони близка к древесине каштана съедобного.

В настоящее время под названием махагони продают древесину произрастающей в Латинской Америке свиетении крупнолистной – *S. macrophylla* King. (местное название каоба). Широко используются африканские породы: кайя (*Khaya ivorensis* A. Chev.), а также сапеле – *Entandrophragma cylindricum* Sprague, сипо – *E. utile* Sprague, косипо – *E. candollei* Harms и др. Красное дерево применяется для изготовления высококачественной мебели, музыкальных инструментов, паркета, отделки кают судов и т. д.

Палисандр. Под этим названием в международной торговле обращаются разные породы, дающие древесину, сходную по цвету и строению; наиболее часто это название применяется для древесины дальбергии черной – *Dalbergia nigra* Fr. All., произрастающей в Бразилии. Это ядровая рассеяннососудистая лиственная порода с крупными сосудами. Заболонь узкая, светло-желтая, с сероватым оттенком, ядро пурпурно-коричневого или шоколадно-бурого цвета, иногда с фиолетовым оттенком, часто неравномерной окраски (с черными и темно-коричневыми полосками). Годичные слои слабо заметны. Древесина очень тяжелая (плотность 800–900 кг/м^3), мало усыхает, трудно раскалывается, хорошо полируется. Применяется для изготовления ценных музыкальных инструментов (пианино), художественной мебели, наборного паркета, токарных изделий и т. п.

Черное дерево. Это торговое название объединяет разные породы, дающие древесину черного цвета. Наиболее известны цейлонское эбеновое дерево – *Diospyros ebenum* Koenig, произрастающее в Индии, Шри Ланка, и африканское эбеновое дерево – *D. crassiflora* Hiern. – в Нигерии, Гане, Камеруне, Заире.

Черное дерево – ядровая рассеяннососудистая лиственная порода с узкой белой заболонью. Ядро глянцево-черного цвета. Годичные слои незаметны. Сердцевинные лучи узкие, не видны ни на одном разрезе. Сосуды мелкие, собраны в радиальные группы по два-три вместе; полости сосудов и волокон либриформа часто заполнены скоплением черных ядровых веществ черного цвета. Плотность сухой древесины первого ботанического вида 1190 кг/м^3, второго – 1030 кг/м^3. Применяется для изготовления духовых и других инструментов, художественно-декоративных изделий, рукояток и т. д.

Бакаут, гваяковое дерево. В торговле обращаются два вида: гваякум лечебный – *Guajacum officinale* L. и в последнее время преимущественно гваякум священный – *G. sanctum* L.. Вечнозеленые медленнорастущие деревья высотой 6–9 м; диаметром 0,3 м (иногда до 0,7 м) произрастают в Центральной и Южной Америке. Бакаут – ядровая кольцесосудистая порода с узкой (у первого вида) или широкой (у второго вида) заболонью желтоватого или кремового цвета, резко отличающейся от зеленовато-черного ядра. Кольца прироста (не годичные слои) почти незаметны. Сердцевинные лучи очень узкие, незаметные, на тангенциальном разрезе расположены горизонтальными рядами или ярусами. Сосуды мелкие, полости их за-

полнены бурым содержимым. Волокна либриформа толстостенные, с узкими полостями.

Древесина бакаута одна из самых тяжелых: ее плотность при 15 % влажности 1300 кг/м^3, прочность при сжатии вдоль волокон 72,5 МПа, торцовая твердость 152 Н/мм^2, а боковая – 134 Н/мм^2. Древесина износостойкая, но трудно обрабатывается, содержит много (около 1/4 массы) гваяковой смолы, используемой для лечебных целей, обладает самосмазывающими свойствами (особенно в воде). Применяется в качестве материала для подшипников, блоков, шаблонов в машиностроении, судостроении, для токарных изделий.

Бальза, охрома заячья, – *Ochroma lagopus* Sw. из семейства баобабовых произрастает в тропической зоне Центральной Америки, но главным образом в Эквадоре. Одна из самых быстрорастущих пород, в возрсте 7 лет дает стволы диаметром 0,5 м и высотой до 21 м. Возраст технической спелости 4–5 лет, предельный возраст 12–15 лет.

Бальза – ядровая рассеяннососудистая лиственная порода с неясно отграниченной заболонью почти белого цвета; ядровая древесина белая с легким красновато-бурым оттенком и шелковистым блеском. Сосуды на поперечном разрезе хорошо заметны простым глазом; они немногочисленные, расположены по одному, реже по два вместе. Сердцевинные лучи заметны на всех разрезах. Древесина бальзы самая легкая (легче пробки), мягкая, пористая (пористость до 95 %).

Показатели физико-механических свойств древесины бальзы в воздушно-сухом состоянии: плотность в среднем 120 кг/м^3, может колебаться от 50 до 380 кг/м^3, прочность при сжатии вдоль волокон 5,4 МПа, а при изгибе 14 МПа, ударная вязкость 1,7 Дж/см^2. Находит многообразное применение как тепло-звукоизоляционный, достаточно прочный и легкий материал в машиностроении, судостроении, для изготовления спортивного инвентаря, поплавков и т. д.

РАЗДЕЛ II. ОСНОВЫ ЛЕСНОГО ТОВАРОВЕДЕНИЯ

ГЛАВА 10. КЛАССИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЛЕСНЫХ ТОВАРОВ

§ 49. Классификация лесных товаров

Лесными товарами принято называть материалы и продукты, получаемые путем механической, механико-химической и химической переработки ствола, корней и кроны дерева. Таким образом, понятием "лесные товары" обычно не охватываются изделия из древесины. Значительная часть товаров лесозаготовительной промышленности реализуется в пределах лесоперерабатывающей промышленности: лесопильной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, гидролизной и лесохимической; часть лесных товаров направляется в другие отрасли народного хозяйства и на экспорт.

Для удобства рассмотрения все лесные товары можно разделить на 7 групп.

I. **Лесоматериалы**. В эту группу входят товары, получаемые механической обработкой в основном ствола дерева. При этом заготавливают деловую древесину и дрова, пригодные для использования только в виде топлива. Низкокачественную деловую древесину называют технологическим сырьем.

Из отходов лесозаготовок (сучья, вершины и др.) и лесопиления (рейки, опилки и др.) также получают лесоматериалы, которые применяют главным образом для химической переработки.

По способу механической обработки лесоматериалы делятся на шесть классов:

1. Круглые лесоматериалы получают поперечным делением хлыста на отрезки, имеющие округлую форму сечения.

Лесоматериалы следующих четырех классов получают соответствующей обработкой круглых лесоматериалов.

2. Пиленые лесоматериалы, или пилопродукцию, получают продольным пилением или фрезерованием древесины и последующим поперечным раскроем материала.

3. Лущеные лесоматериалы – резанием древесины по спирали (лущением).

4. Строганые лесоматериалы – резанием древесины ножами, формирующими плоскую поверхность раздела.

5. Колотые лесоматериалы – разделением древесины вдоль волокон клиновидным инструментом.

6. Измельченную древесину получают специальной переработкой древесины с помощью рубильных машин, фрезерно-пильных агрегатов, дробилок, молотковых мельниц, стружечных станков и размольных устройств, а также в процессах обычного пиления и фрезерования.

Разновидности лесоматериалов определенного назначения принято называть сортиментами.

II. **Сырье для лесохимических производств**. Сюда отнесены товары, получаемые также механическим путем из ствола, корней, кроны и специально предназначенные к использованию в качестве сырья для лесохимических производств. Это корье лиственницы, ели, ивы и древесное сырье из дуба, каштана – для выработки дубильных экстрактов; пнёвый и стволовой осмол из сосны; древесное сырье хвойных и лиственных пород для пиролиза и углежжения (ГОСТ 23260-80), сырье для угля специального назначения (ГОСТ 8440-74); древесная зелень, а также живица и соки, добываемые из живых деревьев.

Следующие две группы лесных товаров получают механико-химическими (точнее, механо-физико-химическими) способами.

III. **Композиционные древесные материалы**. В эту группу входят листовые, плитные или другого вида материалы, образованные с помощью связующих, вяжущих или других веществ из предварительно разделенной на части древесины (или коры). Представителями этой группы являются: фанера, древесностружечные, древесноволокнистые и столярные плиты, арболит и др.

IV. **Модифицированная древесина**. Сюда относится цельная древесина с направленно измененными свойствами. В указанную группу входит древесина: прессованная, пластифицированная аммиаком, модифицированная синтетическими смолами и др.

Остальные три группы лесных товаров получают путем химической переработки сырья.

V. **Целлюлоза и бумага**. Эта группа объединяет различного вида и назначения целлюлозу, древесную массу, бумагу, картон и др.

VI. **Продукция гидролизного и дрожжевого производств**. Сюда включена такая продукция, как спирт, кормовые и пищевые дрожжи, фурфурол и пр., получаемая из низкокачественной древесины и отходов.

VII. **Продукция лесохимических производств**. В эту группу входят разнообразные продукты: древесный уголь, скипидар, канифоль, дубильные экстракты, биологически активные вещества и пр., получаемые из товаров второй группы.

Лесные товары, входящие во вторую и последние три группы, уже были кратко рассмотрены в гл. 3, § 9. Более подробные сведения об этих материалах и продуктах приведены в специальных курсах и руководствах.

Далее описываются лесные товары из первой, третьей и четвертой групп. На большинство из этих товаров имеются государственные стандарты.

§ 50. Общие сведения о стандартизации продукции

Согласно принятому в 2002 г. Федеральному закону «О техническом регулировании» обязательные к исполнению требования в отношении продукции, ее производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации предусматриваются техническими регламентами, а требования, исполняемые на добровольной основе, — стандартами.

Разработка технических регламентов направлена на обеспечение безопасности (отсутствие недопустимого риска причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу, окружающей среде, животным и растениям при производстве и использовании продукции, проведении работ и оказании услуг) и единства измерений.

Стандартизация — это деятельность, направленная на достижение упорядоченности в определенной области, в частности, в сферах производства и обращения продукции, с целью повышения ее безопасности, конкурентоспособности, обеспечения рационального использования ресурсов, научно-технического прогресса, совместимости и взаимозаменяемости продукции, сопоставимости результатов испытаний и измерений. В итоге этой деятельности разрабатываются национальные стандарты и стандарты организаций.

Стандарт — это документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются требования к продукции, ее производству и обращению, работам и услугам. Могут быть стандарты на терминологию, символику, упаковку, маркировку или этикетки и правила их нанесения. Например, среди документов, имеющих отношение к продукции, можно указать стандарт, устанавливающий систему предпочтительных чисел.

В нашей стране приняты четыре основных ряда предпочтительных чисел: R5; R10; R20; R40. Каждый ряд представляет собой геометрическую прогрессию, знаменателем которой является соответственно: $\sqrt[5]{10} \approx 1{,}6$; $\sqrt[10]{10} \approx 1{,}25$; $\sqrt[20]{10} \approx 1{,}12$; $\sqrt[40]{10} \approx 1{,}06$. Для примера выпишем предпочтительные числа двух первых рядов.

Ряд R5:1,00; 1,60; 2,50; 4,00; 6,30; 10,00;

Ряд R10:1,00; 1,25; 1,60; 2,00; 2,50; 3,15; 4,00; 5,00; 6,30; 8,00; 10,00.

Числа свыше 10 или менее 1 получают умножением на 10; 10^2 и т. д. или на 10^{-1}; 10^{-2} и т. д. Цифра, стоящая рядом с буквой R, обозначает номер ряда и указывает, какое количество членов он содержит. Каждый последующий ряд включает все члены предыдущего ряда.

Работами в области стандартизации в нашей стране руководит Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии через систему технических комитетов (ТК). В состав ТК входят представители федеральных органов исполнительной власти, научных и других заинтересованных организаций и объединений. Разработка национальных стандартов проводится по программе, утвержденной Федеральным агентством. Разработчиком проекта стандарта может быть любое юридическое или физическое лицо. Уведомление о разработке национального стандарта направляется в Федеральное агентство и публикуется в информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме и печатном издании федерального органа по техническому регулированию. Разработчик обеспечивает доступность проекта для ознакомления всем заинтересованным лицам, дорабатывает проект стандарта с учетом полученных замечаний и проводит публичное обсуждение проекта. Далее этот документ одновременно с перечнем полученных замечаний и результатами их обсуждения направляется в ТК, который организует экспертизу проекта и готовит мотивированное предложение об утверждении или отклонении проекта стандарта.

Федеральное агентство на основании документов, представленных ТК, принимает решение об утверждении национального стандарта. Уведомление об этом публикуется в печатном издании Федерального органа по техническому регулированию и в информационной системе общего пользования.

Стандарты организаций (коммерческих, общественных, научных, саморегулируемых организаций, объединений юридических лиц) разрабатываются и утверждаются ими самостоятельно.

До 1 июля 2003 г. в нашей стране действовала система стандартизации, которая предусматривала разработку нормативно-технических документов следующих категорий: государственных стандартов СССР и межгосударственных стандартов (ГОСТ), а позднее государственных стандартов Российской Федерации (ГОСТ Р); отраслевых стандартов (ОСТ); стандартов предприятий (СТП) и научно-технических обществ (СТО); технических условий (ТУ). В СССР кроме государственных разрабатывались республиканские стандарты (РСТ). Теперь эти документы имеют рекомендательный характер. Они используются в технической и учебной литературе.

Обозначение государственных стандартов включает их индекс (ГОСТ или ГОСТ Р), регистрационный номер и две последние цифры года утверждения стандарта. Так, например, обозначение ГОСТ 99-96 указыва-

ет, что межгосударственный стандарт был зарегистрирован под номером 99 и утвержден в 1996 г.

За комплексом однотипных стандартов закрепляется единый номер с указанием через точку очередного порядкового номера стандарта. Например, на методы испытаний древесины имеются: ГОСТ 16483.0-78; ГОСТ 16483.1-84; ГОСТ 16483.2-70 и т.д. При пересмотре стандарта в его обозначении менялись только две последние цифры.

Для отраслевого стандарта указывалось, кроме того, цифровое обозначение министерства (ведомства). Изменения в стандартах и сообщения об их отмене публиковались в информационном указателе «Государственные стандарты».

Постановлением Госстандарта РФ от 30 января 2004 г. действующим стандартам придан статус национальных стандартов.

Стандартизация играет большую роль в развитии международного экономического, технического и культурного сотрудничества. Россия принимает участие в ряде международных организаций по стандартизации. Наиболее представительная из них – Международная организация по стандартизации ISO (ИСО), в которую входят более 100 стран. Среди региональных организаций можно указать на весьма крупную – Европейский комитет по стандартизации (CEN), включающий около 30 стран и разрабатывающий европейские стандарты (EN). В литературе встречаются ссылки на стандарты бывшего Совета экономической взаимопомощи (СТ СЭВ).

Международные стандарты учитываются при разработке национальных стандартов и технических регламентов.

С е р т и ф и к а ц и я – это подтверждение соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям национальных стандартов и стандартов организаций или условиям договоров. Обязательная сертификация проводится, если на объект имеется технический регламент; в остальных случаях осуществляется добровольная сертификация. Сертификация проводится по инициативе заявителя на основе договора между ним и органом по сертификации. Этот орган выдает сертификат соответствия на основании протокола испытаний продукции, проведенных испытательной лабораторией (центром).

§ 51. Стандартизация и качество лесных товаров

Основные понятия о качестве лесных товаров. Самостоятельная научная область – к в а л и м е т р и я объединяет количественные методы оценки качества, используемые для обоснования решений, принимаемых при управлении качеством продукции и стандартизации (ГОСТ 15467-79). Рассмотрим некоторые стандартные общие положения о качестве продукции применительно к лесным товарам.

Качество продукции – совокупность свойств, обусловливающих ее пригодность удовлетворять потребности в соответствии с назначением. Следует иметь в виду, что сравнительно ограниченное количество свойств формирует качество продукции, определяемое ее назначением. Даже для характеристики качества такой многообразной по свойствам и назначению продукции, как образующееся в процессе лесовыращивания древесное сырье, О.И. Полубояринов полагал возможным ограничиться пятью свойствами. Это – однородность сырья, породный состав, размерные характеристики, пороки (сучковатость, ядровые гнили, кривизна), плотность древесины. Качество пиломатериалов конструкционного назначения характеризуется прочностью, жесткостью, геометрическими параметрами и влажностью.

Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество. Например, предел прочности – это так называемый прямой показатель прочности пиломатериалов. Косвенными показателями указанного свойства можно считать наличие пороков древесины и их количество.

Признак продукции – качественная или количественная (параметр продукции) характеристика любого свойства или состояния продукции. Качественный признак – это, например, грибная окраска пиломатериалов, которая может быть или не быть (альтернативный признак). Толщина доски представляет собой геометрический параметр. Кроме того, могут быть структурные и другие параметры. Понятие "параметр продукции" шире, чем "показатель качества".

Если показатель качества продукции характеризует одно из ее свойств, он называется единичным, если несколько – комплексным. Определяющий показатель, по которому принимают решение оценивать качество продукции, также может быть единичным или комплексным (обобщенным).

Показатели качества лесных товаров определяют различными методами: измерительным, основанным на использовании технических средств измерений, например, индикаторного глубиномера для измерения шероховатости поверхности пиломатериалов; органолептическим – на основе анализа восприятий органов чувств, например, визуальное определение площади грибных поражений в сортименте; расчетным – на основе теоретических или эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров, например, влажности пиломатериалов от убыли массы при их высушивании; регистрационным – на основе обнаружения и подсчета числа событий или предметов, например, при определении точности сортировки круглых и пиленых лесоматериалов; экспертным – на основе принимаемых группой специалистов – экспертов решений. Общие положения в области качества регламентированы стандартами ИСО серии 9000 "Системы качества".

Наиболее распространенным, простейшим способом оценки качества товаров является установление их сорта.

Особенности стандартизации лесных товаров. Одним из первых объектов государственной стандартизации, начавшей свое развитие в нашей стране с 1925 года, были лесоматериалы. В 1927 году был утвержден первый стандарт на круглые лесоматериалы хвойных пород. В последующие годы создавались стандарты на отдельные сортименты. Количество стандартов непрерывно возрастало и к 1942 году достигло 65. При таком большом количестве стандартов с множеством содержащихся в них норм и требований возникли трудности в работе лесозаготовительной промышленности. Поэтому был взят курс на объединение отдельных стандартов. Эта работа, продолжавшаяся в течение ряда лет, позволила существенно сократить число стандартов. В 1960 году вместо 35 стандартов были созданы всего лишь два стандарта на круглые лесоматериалы лиственных (ГОСТ 9462-60) и хвойных (ГОСТ 9463-60) пород с унифицированными, по возможности, требованиями к размерам и другим показателям качества продукции лесозаготовок. В лесотехнической литературе эти стандарты получили название унифицированных. С некоторыми изменениями, внесенными в 1971-72 гг., а также в последующие годы, эти стандарты действуют в настоящее время.

Почти одновременно со стандартизацией круглых сортиментов начала проводиться стандартизация пилопродукции, а также других видов лесоматериалов. Несколько позднее были разработаны стандарты на фанеру, а затем на древесностружечные и древесноволокнистые плиты.

Следует подчеркнуть, что действующие стандарты на лесоматериалы, были разработаны применительно к плановой экономике они рассчитаны на производство простейших видов продукции ограниченного ассортимента. Использование таких стандартов снижает конкурентоспособность, а также сбыт лесоматериалов, уровень использования лесного фонда.

По поручению правительства ОАО «ЦНИИМЭ» и ООО «Лесэксперт» разработали в 2007 г. проекты национальных стандартов ГОСТ Р на круглые лесоматериалы и пиломатериалы. В них отражены современные тенденции развития производства и сбыта указанных лесных товаров. Новые стандарты предполагают замену не только ГОСТов, но и ОСТов, а также технических условий (ТУ), утвержденных бывшим Минлеспромом СССР.

Далее наряду с изложением содержания существующих стандартов (предполагается, что срок их действия сохранится и на пятилетний переходный период) приводятся основные положения проектов новых стандартов.

Среди проектов разработанных нормативных документов имеется отдельный стандарт, в котором изложены требования к спецификациям на

основные виды лесоматериалов, предназначенных для распиловки, лущения, производства целлюлозы, древесной массы и плит. Этот стандарт может добровольно применяться покупателями и (или) поставщиками товарных круглых лесоматериалов.

Проекты новых стандартов должны быть внесены техническим комитетом ТК 78 «Лесоматериалы» и утверждены Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

В действующих стандартах на круглые, пиленые и другие виды лесоматериалов находят отражение следующие технические требования к сортиментам: древесная порода, размеры, допуски и припуски к номинальным размерам, сорта, степень обработки. Кроме того, в стандартах регламентируются правила маркировки, обмера, учета, приемки и хранения лесоматериалов.

Выбор породы, представляющей собой по существу групповой показатель качества данного сортимента, зависит от его назначения, требуемых свойств древесины (прочности, обрабатываемости, пропитываемости, биостойкости и др.), запасов древесины и др. Например, в качестве сырья для выработки целлюлозы сульфитным способом используют древесину только малосмолистых пород ели и пихты; для изготовления карандашной дощечки применяют мягкую древесину кедра или липы, обладающих хорошими "очиночными" свойствами. Прочную и биостойкую древесину дуба можно было бы применять для выработки очень многих сортиментов, однако из-за сравнительно небольших запасов ее используют преимущественно для изготовления облицовочного материала – строганого шпона и некоторых других видов продукции. В стандартах предусмотрены ограничения использования древесины бука, кедра и других ценных пород, что способствует их экономии.

При установлении размеров, сортиментов исходят из их назначения, технических и экономических соображений. Например, длина такого вида пилопродукции, как шпалы, определяется их назначением и должна соответствовать ширине железнодорожной колеи. Диаметр и длина круглых лесоматериалов, используемых для крепления горных выработок – рудничных стоек, назначается в соответствии с техническими расчетами на прочность и жесткость. Длина круглых сортиментов, подвергающихся последующему лущению и строганию, зависит от конструктивных особенностей оборудования. Минимальный диаметр круглых лесоматериалов для выработки пиломатериалов общего назначения 14 см установлен из соображений рационального использования сырья и удовлетворения требований лесопильного производства.

Учитывая технические возможности станков и оборудования, для отдельных сортиментов установлены допуски – отклонения от номинальных размеров в сторону их увеличения или уменьшения.

Для круглых сортиментов установлены обязательные прибавки к номинальным размерам – *припуски*, компенсирующие уменьшение длины при оторцовке и разделке на более короткие сортименты. У пиломатериалов учитывают отличие фактических размеров толщины и ширины от номинальных из-за усушки древесины. Круглые сортименты подразделяют на *сорта* в зависимости от качества, определяемого толщиной сортимента и наличием пороков древесины. Для пиломатериалов также установлено несколько сортов.

В стандартах на лесоматериалы указаны *требования к степени обработки* (круглые лесоматериалы могут быть окоренными и неокоренными, пиломатериалы могут быть обрезными и необрезными и т. д.), даны нормы допускаемых дефектов обработки. Для некоторых сортиментов в стандартах приведены нормы влажности древесины.

Для выполнения работ по стандартизации создан упомянавшийся технический комитет ТК 78 «Лесоматериалы». Область деятельности этого комитета: круглые лесоматериалы, пиломатериалы, защита древесины, свойства древесины. Комитет ведет работы по международной стандартизации.

В рамках ИСО работы по стандартизации лесоматериалов должен выполнять технический комитет 218 «Лесоматериалы», секретариат которого ведет Украина. Разработку европейских стандартов проводят два технических комитета: CEN/TC 175 «Круглые и пиленые лесоматериалы (секретариат ведет Франция) и CEN/TC 124 «Конструкции из лесоматериалов (секретариат ведет Германия).

Для нашей страны представляет интерес системы стандартизации круглых лесоматериалов в Швеции, Финляндии и Норвегии и скандинавские правила сортировки пиломатериалов «NORDIC TIMBER» [64].

ГЛАВА 11. КРУГЛЫЕ ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ

§ 52. Общая характеристика хлыстов и круглых лесоматериалов

Ствол поваленного (срубленного) дерева, у которого отделены корни, вершина и сучья, называется хлыстом. Согласно техническим условиям ТУ 13-0273685-403-89 хлысты подразделяются на три группы в зависимости от выхода деловой древесины. Ниже приведены нормы выхода для каждой из групп:

Группа качества	I	II	III
Выход, %, из древесины пород:			
хвойных	≥ 80	79-50	<50
мягких лиственных	≥ 60	59-40	<40
твердых лиственных	≥ 70	69-40	<40

В хлыстах не допускается кривизна более 5 % длины хлыста, ядровая гниль, занимающая более 65 % площади нижнего торца, и наружная трухлявая гниль. Хлысты учитывают в кубических метрах; объем определяют по длине и толщине хлыста на расстоянии 1,3 м от нижнего торца с помощью соответствующих таблиц поштучно, а также групповыми методами. Оценку качества хлыстов в партии проводят путем их приемо-сдаточной раскряжевки (поперечного деления).

Круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород используют в различных областях промышленности, строительстве и сельском хозяйстве. Поэтому в ГОСТ 9463-88 и ГОСТ 9462-88 в зависимости от назначения различают лесоматериалы: для распиловки, лущения, строгания, химической переработки с целью получения целлюлозы и древесной массы, для использования в круглом виде, т. е. без дальнейшей механической обработки.

При разделке хлыстов получают круглые сортименты в виде бревен, кряжей и балансов. Бревнами называют сортименты, предназначенные для использования в круглом виде или в качестве сырья для выработки пиломатериалов общего назначения. Кряжами принято называть сортименты, использующиеся для выработки специальных видов лесной продукции (шпал, лущеного или строганого шпона, спичек и др.). Сортименты, соответствующие по длине рабочим размерам деревообрабатывающего оборудования, называют чураками. Балансы – это круглые (или колотые) сортименты, предназначенные для переработки на целлюлозу и древесную массу. Долготье представляет собой отрезок хлыста, длина которого кратна длине получаемого сортимента и включает припуск на разделку. В строительстве и сельском хозяйстве используют тонкомерные сортименты (диаметром 6–13 см) – жерди.

По толщине (диаметру, измеренному на верхнем торце) круглые лесоматериалы делятся на мелкие – толщиной от 6 до 13 см; средние – от 14 до 24 см; крупные 26 см и более. Для мелких лесоматериалов установлена градация 1 см, для средних и крупных – 2 см. Следовательно, для мелких сортиментов учетная толщина 6, 7, 8, 9 см и т. д., для средних и крупных – 14, 16 и т. д. У хвойных пород толщина (до 15 см) вершинных бревен, отличающихся сильным сбегом, измеряется с градацией через 1 см.

Длина лесоматериалов зависит от их назначения и колеблется в широких пределах от 0,5 (для изготовления лож) до 17 м (мачты судов). Наиболее распространенные длины лесоматериалов находятся в диапазоне 4–6,5 м. В стандартах часто указывают не конкретные размеры сортимента по длине, а пределы их возможных изменений и градацию. Для хвойных лесоматериалов длиной 2–3 м и более градация обычно составляет 0,25 или 0,5 м. Для коротких и лиственных сортиментов градация чаще всего

равна 0,1 м. У сортиментов для выработки экспортных пиломатериалов градация равна 0,3 или 0,25 м.

Припуск по длине у лесоматериалов для распиловки, строгания и использования в круглом виде, а также у балансового долготья и спичечных кряжей должен составлять от 3 до 5 см; для лущения (кроме спичечных кряжей) – от 2 до 5 см на каждый чурак. При этом фактическая длина бревна или кряжа длиной 2 м и более может быть больше на 5 см номинальной длины вместе с припуском. Для балансов в чураках припуск по длине не устанавливается. Допуск по длине балансов ±2 см.

По качеству лесоматериалы делят на три сорта: 1, 2 и 3. Качество определяется наличием, размерами и количеством пороков древесины. У хвойных лесоматериалов в числе нормируемых по ГОСТ 9463–88 пороков: сучки и пасынок, грибные поражения (гнили и окраски), червоточина, трещины, кривизна, механические повреждения, а также открытая прорость, сухобокость и рак. Основными сортообразующими пороками у хвойных лесоматериалов являются сучки, на втором месте находится гниль, далее – механические повреждения, которые являются технологическим браком и должны быть сведены к минимуму; остальные пороки встречаются реже. У лесоматериалов 1-го сорта не допускаются табачные сучки, ядровая гниль и дупло (у мелких и средних сортиментов), заболонная и наружная трухлявая гнили, неглубокая и глубокая червоточина.

У лесоматериалов 2-го сорта не допускаются только два порока: заболонная и наружная гниль, у 3-го сорта только второй порок, а также одновременное наличие заболонной и ядровой гнили. Остальные пороки допускаются, однако степень их ограничения у 1-го сорта – наибольшая, у 2-го – меньше, а у 3-го еще меньше. Различия в уровне требований к качеству лесоматериалов в зависимости от их сорта можно показать на примере ограничений сучков и пасынка (см. табл. 52).

52. Нормы допуска сучков и пасынка в круглых лесоматериалах хвойных пород

Пороки	Сорта		
	1-й	2-й	3-й
Сучки и пасынок:	В мелких лесоматериалах допускаются		
а) все разновидности, за исключением табачных сучков	В средних лесоматериалах допускаются размером, см, не более:		Допускаются
	3	8	
	В крупных лесоматериалах допускаются размером, см не более:		Допускаются
	5	10	
б) табачные	Не допускаются	Допускаются размером, см, не более	
		2	5

Оценка качества лиственных лесоматериалов проводится в основном по той же номенклатуре пороков, что и у хвойных лесоматериалов. При этом учитывается, что у лиственных пород могут быть специфические пороки (побурение, ложное ядро). Нормы требований по сортам приведены в ГОСТ 9462–88. Основными сортообразующими пороками для лиственных лесоматериалов являются сучки, гнили и кривизна.

Сучья у лесоматериалов должны быть обрезаны (срублены) вровень с поверхностью неокоренного бревна. Скос пропила допускается в пределах диапазона припусков по длине. Козырьки, корневые лапы и наросты должны быть отпилены, а визуальные инородные включения – удалены.

§ 53. Технические требования к круглым лесоматериалам

Круглые деловые лесоматериалы различного назначения. Сортименты, подлежащие распиловке предназначены в основном для выработки пиломатериалов, заготовок, шпал и др.

Для выработки большинства видов пиломатериалов могут быть использованы круглые неокоренные лесоматериалы как хвойных, так и лиственных пород. Однако, некоторые виды пиломатериалов, предназначенных для специальных целей, изготовляются только из хвойных круглых сортиментов.

Сводка требований к круглым лесоматериалам, предназначенным для получения пиломатериалов (и частично заготовок), которая составлена по ГОСТ 9463–88 и ГОСТ 9462–88, представлена в табл. 53.

Для лесоматериалов в зависимости от назначения в указанных стандартах устанавливаются некоторые дополнительные (к тем, что указаны в табл. 53) требования.

Заготовки для ряда назначений изготовляются только из древесины лиственных пород. Требования к указанной категории круглых сортиментов приведены в табл. 54.

53. Круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород для выработки пиломатериалов

Назначение лесоматериалов	Породы		Сорт	Толщина, см		Длина, м		Градация по длине, м	
	хвойные	лиственные		хвойные	лиственные	хвойные	лиственные	хвойные	лиственные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Для выработки пиломатериалов и заготовок: а) общего назначения (пиловочник)	Все породы[1]	Все породы[2]	1; 2; 3	14 и более[3]	14 и более	3,0–6,5	2,0–6,0	0,25	0,25
		Дуб, бук, ясень, ильм, клен, граб	1; 2; 3	–	14 и более	–	1,0–6,0	–	0,1
б) черноморской и северной[4] сортировки, поставляемых на экспорт	Все породы[1]	–	1; 2	14 и более	–	4,0–8,0	–	0,25	–
в) авиационных	Сосна, кедр[5], ель[6], пихта[7], лиственница[8]	–	1	26 и более	–	2,75	–	–	–
		–	1	26 и более	–	3,0–6,5	–	0,5	–
г) резонансных	Ель, пихта[7], кедр	–	1	28 и более		3,0–6,5	–	0,5	–
д) судостроительных	Все породы[1]	–	1,2	26 и более	–	3,0–6,0	–	0,5	–
е) карандашных	Кедр	–	1; 2	24 и более	–	3,0–6,5	–	0,5	–
ж) для клепки заливных бочек	Все породы[1]	Береза, осина, тополь, бук, липа, ива	1; 2	14 и более	14 и более	1,0–2,7 2,75 3,0–6,5	Не менее 0,6	0,1 – 0,5	0,1
з) для клепки сухотарных бочек и деталей ящиков	Все породы[1]	Береза, осина, тополь, ольха, липа, ива	2; 3	13 и более[9]	12 и более	1,0-2,7 2,75 3,0-6,5	Не менее 0,6	0,1 – 0,5	0,1

Продолжение таблицы 53

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
и) для брусьев проводников шахтных подъемов	Лиственница	–	1; 2	20–46	–	4,5–6,5	–	0,5	

Примечание: 1 – сосна, ель, пихта, лиственница, кедр; 2 – кроме дуба, бука, ясеня, ильма, клена, граба; 3 – при использовании фрезерно-пильных агрегатов, допускается толщина 12 см; 4 – в отличие от черноморской для северной сортировки длина 4,0–7,0 с градацией 0,3 м; 5 – кедр корейский и сибирский; 6 – ель обыкновенная, аянская и сибирская; 7 – пихта европейская и кавказская; 8 – лиственница сибирская и даурская; 9 – для кедра 2-го сорта толщина 13–22 см.

54. Круглые лесоматериалы лиственных пород для выработки заготовок различного назначения

Назначение	Порода	Сорт	Толщина, см	Длина, м	Градация по длине, м
Для выработки:					
лыж	Береза	1	16 и более	1,50	–
	Береза, клен, ильм, бук, ясень, граб	1	16 и более	2,00–2,40	0,10
ложек	Береза, бук	1	22 и более	0,50; 0,55; 0,65; 0,75; 1,05*; 1,10; 1,20*; 1,30; 1,50*; 1,90*; 2,00*; 2,10* и кратные им	–
клепки винных бочек	Дуб	1	26 и более	не менее 0,60	0,10
весел	Бук, ясень	1	18 и более	3,00–5,50	0,10

* Только для березы.

Можно заметить, что для указанных целей используется главным образом древесина твердых лиственных пород.

Требования к круглым лесоматериалам, предназначенным для выработки шпал и переводных брусьев, приведены в табл. 55.

55. Круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород для выработки шпал и переводных брусьев железных дорог

Назначение лесоматериалов	Породы		Сорт		Толщина, см	Длина, м	Градация по длине, м
	хвойные	лиственные	хвойных	лиственных			
Для выработки шпал:							
широкой колеи	Все породы* (кроме кедра)	Береза	1; 2; 3	2; 3	26 и более	2,75; 5,50	–
	Кедр	–	3		26 и более	2,75; 5,50	–
узкой колеи	Все породы* (кроме кедра)	Береза	2; 3	2; 3	20 и более	1,30; 1,50; 1,80**	–
Для выработки переводных брусьев:							
широкой колеи	Все породы* (кроме кедра)	Береза	1; 2; 3	2; 3	26 и более	3,00–5,50	0,25
узкой колеи	Все породы* (кроме кедра)	Береза	2; 3	2; 3	20 и более	1,50; 1,65	–
						1,80–3,20; 3,50**	0,20

* Промышленные хвойные породы: сосна, ель, пихта, лиственница, кедр.

** Для хвойных пород допускается изготовление лесоматериалов, кратных по длине указанным размерам.

В шпальных кряжах предусмотрена возможность некоторых отступлений от сортовых требований. Допускается открытая прорость, сухобокость, гнили и ряд других пороков при наличии по всей длине кряжа сегмента здоровой древесины высотой 22 см (для широкой колеи) и 14 см (для узкой колеи).

Круглые лесоматериалы, предназначенные для лущения, поставляются в виде кряжей и чураков лиственных и хвойных пород. Основные требования к этим сортиментам указаны в табл. 56.

56. Круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород для выработки лущеного шпона

Назначение лесоматериалов	Породы		Сорт	Толщина, см	Длина, м	Градация по длине, м
	хвойные	лиственные				
Для выработки шпона:						
общего назначения	Сосна, лиственница, кедр, ель, пихта	Дуб, клен, ясень, береза, ильм, бук, граб, ольха, осина, тополь, липа	1; 2	16(18)* и более	1,30; 1,60 и кратные им	–
	Те же	Те же	1; 2	18(20)* и более	1,91; 2,23; 2,54 и кратные им	–
спичечного	–	Осина, тополь, липа, ольха	1; 2; 3	16 и более	Не менее 2,00	0,10

* для хвойных пород.

Для изготовления фанеры используется шпон преимущественно из березы, а для спичечной соломки – в основном из осины. Для фанерного и спичечного кряжей установлены дополнительные к общесортовым требования в отношении качества периферической зоны, подвергаемой лущению. Ограничения касаются сучков, прорости, трещин, сухобокости, рака, ребристой закомелистости, ядровой гнили, кривизны, механических повреждений.

Круглые лесоматериалы, предназначенные для строгания, используют с целью получения строганого шпона для декоративной отделки изделий из древесины, фанеры, древесных плит и т. д.

Породы, из которых заготовляют кряжи, должны иметь древесину с выразительной текстурой и красивым цветом. Поэтому для указанных целей используют преимущественно лиственные породы (дуб, бук, ясень и многие другие), а также некоторые хвойные породы (лиственница, сосна, кедр). Лесоматериалы должны быть 1 и 2 сорта. Толщина лиственных кряжей – 24 см и более, а хвойных – 32 см и более. Длина кряжей из лиственных пород должна быть не менее 1,5 м, а из хвойных – не менее 2,5 м. Градация по длине во всех случаях составляет 0,1 м. Кряжи поставляются в неокоренном виде.

Круглые лесоматериалы (балансы), предназначенные для получения целлюлозы и древесной массы, заготавливают преимущест-

венно из хвойных (главным образом ели), а также из лиственных пород. Требования к хвойным балансам указаны в табл. 57.

57. Круглые лесоматериалы (балансы) хвойных пород для выработки целлюлозы и древесной массы

Назначение лесоматериалов	Порода	Сорт	Толщина, см	Длина, м
Для выработки:				
целлюлозы на химическую переработку	Ель, пихта, сосна, лиственница	1; 2	12–24	1,2; 1,5; 2,0 и кратные им
сульфитной, бисульфитной целлюлозы	Ель, пихта	1; 2; 3;	6–16	0,75; 1,0; 1,1; 1,2; 1,25; 2,0 и кратные им
белой древесной массы	Ель, пихта	2; 3	10–16	1,0; 1,1; 1,2; 1,5; 2,0 и кратные им
целлюлозы для электроизоляционных видов бумаги и картона	Ель, пихта, сосна	1; 2; 3	12–24	0,75; 1,00; 1,10; 1,20; 1,25 и кратные им
сульфатной целлюлозы, бисульфитной полуцеллюлозы и древесной массы	Сосна, ель, пихта, лиственница, кедр	1; 2; 3	6–24	0,75; 1,00; 1,10; 1,20; 1,25 и кратные им

Ниже приводятся основные требования к балансам из древесины лиственных пород.

Для получения целлюлозы, предназначенной на химическую переработку, используют березу, осину и тополь, а для белой древесной массы – только тополь и осину. В обоих случаях балансы 1-го сорта, толщиной 10–24 см, а длиной 1,2; 1,5; 2,0 и кратные им.

Для выработки сульфитной и бисульфитной целлюлозы используют березу, осину, тополь, ольху, балансы 1 и 2 сорта, толщиной 6–18 см, длиной 0,75; 1,0; 1,1; 1,2; 1,25 м и кратные им. Для получения сульфатной беленой целлюлозы используют те же породы; балансы 1 и 2 сорта, толщиной 6–24 см, и 3 сорта, толщиной 6–40 см, той же длины. Для выработки сульфатной небеленой целлюлозы, натронной, бисульфитной и нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы применяют балансы всех пород, тех же размеров по толщине и длине.

Кроме того, согласно техническим условиям ТУ 13–0273685–402–89 предусмотрена возможность заготовки так называемых балансов 4-го сорта из древесины хвойных и лиственных пород пониженного качества.

В балансах не допускается обугленная древесина и наружняя трухлявая гниль, в то же время балансы могут иметь трещины, механические повреждения и некоторые другие пороки. Подробнее о дополнительных требованиях к качеству древесины балансов указано в стандартах и ТУ.

Некоторые лесоматериалы применяют в промышленности, строительстве и сельском хозяйстве в круглом виде. Для этой цели используют главным образом сортименты из древесины хвойных пород. Назначение сортиментов и основные требования к ним приведены в табл. 58. В дополнительных требованиях отмечено, что не допускают гнили и табачные сучки, указаны ограничения для некоторых других пороков.

58. Лесоматериалы хвойных пород для использования в круглом виде

Назначение лесоматериалов	Порода	Сорт	Толщина, см	Длина, м	Градация по длине, м
Для мачт судов и радио	Сосна ,ель, лиственница, кедр, пихта*	1; 2	По особому заказу		
Для свай, гидротехнических сооружений и элементов мостов	Те же	2	22-34	6,5; 8,5	–
Для опор линий связи, автоблокировки и опор линий электропередач напряжением ниже 35 кВ	Сосна, лиственница, ель, пихта	1; 2	16-22	4,5; 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 11,0; 13,0	–
Для опор линий электропередач напряжением 35 кВ и выше	Сосна, лиственница	1; 2	По особому заказу		
Для строительства	Сосна, лиственница, ель, пихта	1; 2	14-24	3,0-6,5	0,5
Для шпалер хмельников	Те же	1; 2	13-20	7,5-9,5	1,0
Для вспомогательных и временных построек различного назначения (подтоварник)	Сосна, лиственница, ель, пихта, кедр	2	6-13	3,0-6,5	0,5
Для разделки на рудничную стойку	Сосна, ель, пихта, лиственница, кедр	1; 2	7-24	4,0-6,5	0,5

* Пихта кавказская и европейская.

Из всех лиственных лесоматериалов 2-го сорта изготавливают строительные бревна толщиной 12–24 см и подтоварник толщиной 8-11 см (первые длиной 4,0-6,5 м с градацией 0,5, второй – длиной не менее 3,0 м с градацией 0,25 м). В строительных бревнах и подтоварнике из лиственных пород не допускаются сучки и грибные поражения.

Среди лесоматериалов, используемых в круглом виде, есть несколько сортиментов: рудничная стойка, колья для снеговых щитов, жерди и т. д., требования к которым были установлены не унифицированными стандартами, а отдельными государственными или отраслевыми стандартами.

Наибольшее значение из указанных сортиментов имеет рудничная стойка, на изготовление которой ежегодно расходуется большое количество древесины.

Рудничная стойка предназначена для крепления подземных горных выработок; используется в каменоугольной, сланцедобывающей и горнорудной промышленности. Стойки изготавливаются из древесины сосны, ели, лиственницы, кедра и в ограниченных количествах из пихты. Ценным качеством древесины сосны и ели является их способность при усилении давления на крепь издавать предупреждающий треск. Длина рудничных стоек должна соответствовать мощности пласта в шахтах. Сечение (диаметр) стоек должно обеспечивать необходимое сопротивление крепи действующим нагрузкам. В ГОСТ 616-83 установлены длины и диаметры (толщины) стоек для всей каменноугольной промышленности, а также для основных угольных и сланцедобывающих бассейнов. Длина стоек колеблется в широких пределах от 0,5 до 6 м; причем от 0,5 до 3 м градация равна 0,1 м, а далее интервалы становятся больше. Диаметр в верхнем торце находится в пределах от 7 до 24 см. Стойки одинаковой длины могут быть нескольких диаметров.

Длины рудничной стойки для горнорудной промышленности находятся в диапазоне 1,5-6,5 м, а диаметры в пределах от 12 до 32 см; причем диаметр свыше 24 см имеют стойки длиной 3,0 м и более.

Предельное отклонение от номинальных размеров длины стоек составляет ±2 см. В рудничных стойках не допускаются табачные сучки, гнили. Грибные ядровые пятна и полосы, червоточина, трещины, кривизна и механические повреждения допускаются с ограничениями

Были разработаны отдельные ГОСТы на круглые лесоматериалы, предназначенные для экспорта. Главным образом экспортируют пиловочные бревна, преимущественно из древесины хвойных пород: сосны, ели, пихты, лиственницы и кедра. Размеры бревен по толщине 14 см и выше с градацией 2 см, по длине от 4,0 до 7,0 м с градацией 0,25 м, а также 3,8; 7,6 и 8,0 м. Припуск по длине равен 5-10 см. В зависимости от качества древесины лесоматериалы могут быть 1, 2 и 3 сорта. Нормы допускаемых пороков и другие требования к хвойным пиловочным бревнам изложены в ГОСТ 22298-76 Э.

Меньше экспортируется пиловочных бревен лиственных пород. В отличие от хвойных длина их от 3 до 6,5 м. В зависимости от качества древесины устанавливается 1 или 2-ой сорт. Остальные требования к этим сортиментам приведены в ГОСТ 22299-76 Э.

Требования к балансам, поставляемым на экспорт, изложены в ГОСТ 22296-89 Э. Толщина балансов от 6 до 24 см; длина находится в диапазоне от 1 до 6,5 м. Для экспортной рудничной стойки – пропсов требования регламентированы ГОСТ 22297-76 Э.

В рыночных условиях экспорт круглых лесоматериалов осуществляется по спецификациям покупателя. По данным ОАО «НИПИЭИлеспром» за 2006 г. основные страны, в которые шли поставки: Китай (44 % общего объема), Финляндия (26 %), Япония (10 %).

Технологическое сырье. К круглым лесоматериалам относится также технологическое сырье для ряда производств, заготовляемое из низкокачественной древесины.

Дровяная древесина для технологических нужд (ТУ-0273685-404-89) предназначена для использования при производстве древесных плит, гидролизе и других целях. В зависимости от назначения размеры дровяной древесины должны соответствовать указанным в таблице 59.

Предельное отклонение от номинальной длины от 0 до +0,1 м. Качество древесного сырья весьма низкое. Допускаются все пороки за исключением наружной гнили и обугленности (для производства древесных плит); снижены требования к ограничению допуска ядровой гнили и дупла. Соотношение поставляемой древесины по размерам и группам пород (хвойные и лиственные) устанавливается в договоре между потребителем и поставщиком.

59. Размеры дровяного сырья для технологических нужд

Назначение сырья	Толщина, см не менее	Длина, м	Градация по длине, м
Для гидролиза и древесноволокнистых плит	4	0,5-6,5	0,1
Для древесностружечных и цементностружечных плит, фибролитовых плит на портландцементе	4	1,0-6,0	1,0
Для стружки, арболитовых плит, изделий хозяйственного назначения и др.	6	0,5-6,5	0,1

В упомянутых в § 51 проектах национальных стандартов, разработанных ОАО «ЦНИИМЭ» и ООО «Лесэксперт» предложена новая система стандартов на круглые лесоматериалы. В «общих требованиях» отражена классификация лесоматериалов, соответствующая рыночным условиям, изложены обязательные требования (до введения технических регламентов), установлены структура, уровень, состав и условия применения нор-

мативных документов. Среди обязательных находятся требования безопасности производства, транспортировки и фитосанитарной безопасности, в том числе экспортируемых лесоматериалов. Этим учитывается биологическая природа лесоматериалов. Отражаются требования к средствам и методам измерения количества лесоматериалов при торговых и таможенных операциях. Предусматривается возможность разработки стандартов организаций и спецификаций на лесоматериалы. Устанавливается классификация круглых лесоматериалов по древесным породам, назначению, учету коры, дефектности бревен, степени окорки. В частности расширяется понятие «балансы», в которое предлагается включить не только лесоматериалы для производства целлюлозы и древесной массы, но для древесных плит, пиролиза и углежжения.

§ 54. Методы измерения размеров и объема круглых лесоматериалов, контроль качества, приемка, маркировка

В действующем стандарте ГОСТ 2292-88 толщину круглых лесоматериалов (бревен) определяют как среднее значение результатов измерений двух взаимно перпендикулярных диаметров в верхнем торце. У деловых сортиментов толщину определяют без коры, у дров – с корой. Если партия состоит из более чем 100 шт., допускается замер лишь одного диаметра (у всех бревен в одном направлении). У лесоматериалов толщиной до 18 см можно измерять один диаметр в горизонтальном направлении. Диаметр измеряют в долях см как длину прямой линии, проходящей через геометрический центр торца бревна. Измеренную толщину округляют обычным способом до ближайшей номинальной, указанной в стандартах.

Длину измеряют по наименьшему расстоянию между торцами с округлением до 1 см. Припуски и допуски по длине при определении объема не учитывают. Объем деловых сортиментов и дровяного долготья устанавливают по толщине и длине лесоматериала, используя приведенные в ГОСТ 2708-75 таблицы. При нарушении градации длины (включая минимальный припуск) для определения объема используют ближайшую наименьшую длину лесоматериала из соответствующих стандартов.

Объем коротких сортиментов, длиной до 2 м, за исключением тех, которые по данному стандарту подлежат маркировке, и дровяного долготья до 3 м определяют в так называемой складочной мере. С к л а д о ч н а я м е р а характеризует объем штабеля лесоматериалов, который определяется умножением его ширины на высоту и длину. Ширину штабеля принимают равной номинальной длине уложенных лесоматериалов. Высоту штабеля определяют как среднее арифметическое измерение нескольких высот через каждый 1 м длины штабеля. Высоту и длину штабеля измеряют округляя до 0,01 м. Длину клеток, уложенных по краям штабеля для его укрепления, принимают равной 0,8 их фактической протяженности.

При укладке деловых сортиментов, имеющих влажность свыше 25 %, высота штабеля должна иметь неучитываемую при исчислении объема надбавку на усушку и усадку в размере 2 % (от высоты штабеля).

Для перевода в плотную меру габаритный объем штабеля сортиментов (складочную меру) умножают на коэффициент полнодревесности.

В проектах стандартов ОАО «ЦНИИМЭ» и ООО «Лесэксперт» разработаны классификации и требования к методам измерения размеров, объема, признаков качества и его контроля, правилам приемки товарных круглых лесоматериалов. Рекомендательный характер разработанных нормативных документов предусматривает возможность выбора того или иного метода продавцом и (или) покупателем согласно договора. Поэтому эти документы отличаются многовариантностью методов. Для измерения длины и диаметра бревен можно использовать ручные и автоматические устройства. Длину бревен в см измеряют как расстояние между визуально параллельными плоскостями, образующими полные сечения бревна. Диаметр бревна в мм измеряют как расстояние между двумя параллельными прямыми (губками штангенциркуля или лесной вилки, лучами оптико-электронного устройства и др.), касающимися боковой поверхности бревна. При измерении диаметра бревна на его торце линейкой (рулеткой) расположение параллельных прямых устанавливают визуально. Договор может предусматривать измерение срединного диаметра d_c (на середине длины бревна), верхнего диаметра d (на меньшем, верхнем торце); нижнего диаметра D (на большем, нижнем торце); диаметра на определенном расстоянии от нижнего торца (обычно для опор); диаметров на середине длины секций – равных участков длины бревна (длина секций зависит от конструкции автоматической измерительной системы). Согласно договору можно проводить измерения диаметра бревен в партии в одном постоянном направлении или для каждого бревна в двух взаимно перпендикулярных направлениях, вычисляя среднее арифметическое значение.

Для определения объема бревна по таблицам результаты измерения диаметра округляют до ближайшего сантиметра, отбрасывая доли менее 0,5 см и увеличивая до целого сантиметра доли 0,5 см и более.

Поштучные методы измерения объема бревен.

По распространенный в странах Западной Европы метод срединного сечения (метод Губера) в качестве модели для определения объема принят цилиндр с диаметром, равным диаметру бревна на середине его длины L. Объем вычисляют по известной формуле, используя значения d_c и L.

Метод концевых сечений. Этот метод требует измерения верхнего и нижнего диаметров бревна. В качестве модели для определения объема используются два цилиндра с длиной равной половине длины бревна. У комлевых бревен измерение наибольшего диаметра проводят на расстоянии 0,5 м от нижнего торца.

Секционный метод, предусматривающий суммирование объемов цилиндров (секций), обычно используют при автоматическом измерении диаметров в нескольких местах по длине бревна. Эти методы требуют раскатки бревен в один ряд.

Можно, согласно договору, устанавливать объем без определения сбега каждого бревна. Тогда применяют метод верхнего диаметра и среднего сбега для партии бревен. Если необходимо выборочное определение среднего сбега, то у каждого бревна выборки (не менее 500 случайно отобранных бревен) измеряют верхний d и срединный d_c диаметр (в мм), а также длину бревна L (в м).

Сбег бревна вычисляют по формуле

$$s = \frac{2(d_c - d)}{L}. \qquad (121)$$

Затем определяют средний сбег бревен S как среднее арифметическое значение результатов измерений сбега каждого бревна выборки. Величина среднего сбега зависит от породы, условий произрастания, расположения бревен в стволе и находится в пределах от 5 до 14 мм/м.

Объем бревна вычисляют по формуле

$$V = \frac{3.1416 \cdot L}{4000000} \times \left(d + S\frac{L}{2}\right)^2. \qquad (122)$$

Результат вычисления объема отдельного бревна округляют до 0,001 м^3, а партии бревен – до 0,01 м^3.

Если бревна имеют кору, а необходимо определить объем без коры, то диаметры измеряют на торцах до границы между древесиной и корой или стесывают кору в местах измерения диаметра. Можно также уменьшить диаметр, измеренный с корой, на расчетную двойную толщину коры. Этот показатель находят из эмпирической зависимости, полученной для каждой породы и района заготовки на основании результатов выборочных измерений диаметров с корой и без коры. Измерения толщины коры могут проводится одновременно с измерениями сбега. Наконец, можно исключить объем коры путем умножения объема с корой на поправочный коэффициент, определенный предварительно по результатам выборочных измерений соответствующих диаметров бревен. Величина этого коэффициента составляет 0,75-0,95; она зависит от тех же факторов, что и сбег.

Групповые методы измерения объема бревен. Штабельный метод применяется для совокупности бревен, уложенных без их перекрещивания на земле, а также в вагоне, автомобиле, трюме, на палубе судна, в кармане-накопителе. Складочный объем штабеля определяют, по принятой модели штабеля, например, используя правило "полного ящика". Условные вертикальные и горизонтальные стенки "ящика" располагают так, чтобы бревна или их части, выступающие за стенки "ящика" визуально поместились в пустоты внутри ящика между его стенками и осталь-

ными бревнами штабеля. Следовательно, вместо определения объема штабеля неправильной формы измеряют равный ему объем прямоугольного параллелепипеда. Штабель длиной 3 м и более размечают вертикальными линиями на равные секции (длиной не более 3 м). Измеряют высоту каждой секции по вертикальной стенке "полного" ящика" и находят высоту штабеля как среднее значение высот всех секций. Для определения объема бревен в штабеле (в плотной мере) складочный объем, т. е. произведение его длины, ширины и высоты умножают на коэффициент полнодревесности. Этот показатель находят предварительно по измерениям выборки бревен из штабеля. Величина коэффициента полнодревесности может быть в пределах от 0,4 до 0,7; она зависит от породы, диаметра, длины и кривизны бревен, толщины коры, качества обрезки сучьев, плотности укладки и др. факторов.

Весовой метод применяют для вагонных, судовых или автомобильных партий бревен. Взвешиванием полной партии или всех составляющих ее штабелей, пакетов, грейферных пачек определяют массу бревен как разницу между массой брутто и массой тары (вагона, грейфера и т. д.). Массу бревен допускается измерять по осадке судна. Объем бревен в партии вычисляют делением массы на размерный коэффициент плотности. Этот коэффициент, если измеряют массу бревен с корой, а их объем без коры, не совпадает с общепринятым показателем – "плотность". Коэффициент плотности предварительно определяют по выборке из партий как отношение массы бревен к их объему. Величина его может быть в пределах от 0,45 до 1,2 т/м^3; она зависит от породы, т.е. плотности абсолютно-сухой древесины, влажности бревен и массы их коры.

Счетные методы основаны на предварительном определении (по выборке) среднего объема бревна или пакета и подсчете их количества в партии. Преимущество этих методов - низкая трудоемкость, недостаток – значительная погрешность определения объема бревен в партии.

Для группового и поштучного измерения объема бревен также могут быть использованы следующие физические методы.

Гидростатический метод используют для измерения объема пакета бревен. Этот метод основан на законе Архимеда. Вначале взвешивают тару (например грейфер) в воздухе и в воде. Затем пакет бревен с захватом взвешивают до и после погружения в воду. Разница в показаниях весов равна выталкивающей силе (массе вытесненной воды). Вычитая из нее величину выталкивающей силы, приходящейся на тару, и принимая плотность воды 1,0 т/м^3, получают объем бревен в пакете.

Метод вытеснения воды. Этот метод предполагает измерение объема вытесненной воды после погружения в нее одного или нескольких бревен.

Контроль качества. Контроль качества партии круглых лесоматериалов при приемке может включать следующие операции:

- контроль качества внешним осмотром штабелей для принятия решения о приемке штабеля (и партии в целом) или об отказе от приемки
- контроль качества внешним осмотром штабеля с измерением диаметров и объема дефектных бревен без расформирования штабеля
- сплошной поштучный контроль качества бревен в партии
- выборочный поштучный контроль качества круглых лесоматериалов.

Области применения и процедура контроля подробно изложены в проекте стандарта, разработанного ОАО «ЦНИИМЭ» и ООО «Лесэксперт».

Правила приемки устанавливают требования к измерениям объема и контроля качества партии лесоматериалов, по результатам которых проводят их оплату. Это могут быть измерения объемов и контроль качества круглых лесоматериалов на складе поставщика и складе покупателя. Первый вариант используют при продаже лесоматериалов со склада промышленного или торгового предприятия мелким покупателем (потребителям). Второй вариант - приемку лесоматериалов по результатам измерений на складе покупателя обычно используют крупные потребители. Иногда приемка осуществляется с учетом измерений, проведенных у поставщика и покупателя. Допускается по соглашению сторон выполнять измерение объема и контроля качества, пользуясь услугами независимой экспертной организации. Эти результаты являются основанием для приемки и оплаты круглых лесоматериалов.

Согласно ГОСТ 2292-88 поштучной маркировке подлежат круглые деловые лесоматериалы толщиной 14 см и более. Короткие сортименты длиной до 2 м, за некоторым исключением (фанерные, резонансные кряжи и др.), не маркируют. Марку наносят краской на верхние торцы сортиментов. Она содержит обозначение сорта – римской или арабской цифрой и диаметра – последней цифрой размера. Так цифра 2 – означает диаметр 22, 32 см и т.д.

В рекомендациях РД 13-2-4-98 разработанных ООО «Лесэксперт» (А.К. Курицын) "Маркировка круглых лесоматериалов и пиломатериалов" изложены современные требования к маркировке. Фирменная маркировка содержит обозначение изготовителя, торговой фирмы или экспертной организации и свидетельствует о соответствии лесоматериалов требованиям контракта. Для этого используется официально зарегистрированный товарный знак или клеймо (метка) произвольной формы. Учетная маркировка выполняется нанесением на торец бревна марки, которая согласно договору, обычно содержит обозначение породы, сорта, диаметра, длины. Применяется также номерная (учетная) маркировка бревен цифрами или штриховым кодом; при этом в сопроводительной документации должны содержаться сведения о партии промаркированных лесоматериалов. В рекомендациях РД 13-2-4-98 подробно изложены возможные способы поштучной и групповой маркировки; процедура учета

лесоматериалов, включающая составление протоколов измерений, актов приемки, ведомостей, отгрузочные спецификации; сведения о технических средствах для измерений, маркировки, регистрации, обработки и передачи результатов измерений, а также другие материалы.

При осуществлении государственного контроля экспорта лесоматериалов используются коды товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД). Согласно этому документу разные виды круглых лесоматериалов и пилопродукции имеют соответствующие цифровые обозначения.

Сведения о терминологии, измерениям и классификации лесоматериалов по европейским стандартам содержатся в недавно изданном справочнике [29].

ГЛАВА 12. ПИЛОПРОДУКЦИЯ

Различают три вида пиленой продукции, которые по возрастающей степени готовности к дальнейшему использованию в изделиях и сооружениях располагаются в следующем порядке: пиленые материалы (пиломатериалы), пиленые заготовки и пиленые детали.

Пиломатериалы получают путем раскроя бревен, заготовки вырабатывают из пиломатериалов, а детали – из заготовок или непосредственно из круглых лесоматериалов.

Пиленые заготовки отличаются от пиломатериалов тем, что по размерам и качеству соответствуют будущим конкретным деталям с припусками на усушку и механическую обработку. Пиленые детали в отличие от заготовок не требуют дальнейшей механической обработки.

Ниже рассматриваются основные сортименты каждого из трех видов пилопродукции, на которые были разработаны государственные стандарты.

§ 55. Пиломатериалы

В зависимости от области применения различают пиломатериалы для российского рынка и пиломатериалы, поставляемые на экспорт. Пиломатериалы для российского рынка делятся на пиломатериалы общего назначения и специальные (авиационные, резонансные).

Технические условия на пиломатериалы общего назначения, которые изготовляются из древесины хвойных и лиственных пород регламентированы ГОСТ 8486-86 (а также ГОСТ 24454-80) и ГОСТ 2695-83. Преимущественно выпускают хвойные пиломатериалы.

По форме и размерам поперечного сечения пиломатериалы делят на доски – если ширина вдвое больше толщины (рис. 109, г, д, е, ж), бруски – если ширина меньше двойной толщины (рис. 109, з) и брусья

(у хвойных пиломатериалов) – если ширина и толщина более 100 мм. По числу пропиленных сторон брусья (рис. 109, а, б, в) могут быть двухкантными, трехкантными и четырехкантными.

В пиломатериалах продольная широкая сторона называется пласть, узкая – кромка, а линия пересечения пласти и кромки – ребро.

По принятой терминологии (ГОСТ 18288-87) пласть пиломатериала, обращенная к периферии бревна, называется наружной (старое название – лицевая), а к сердцевине бревна – внутренней.

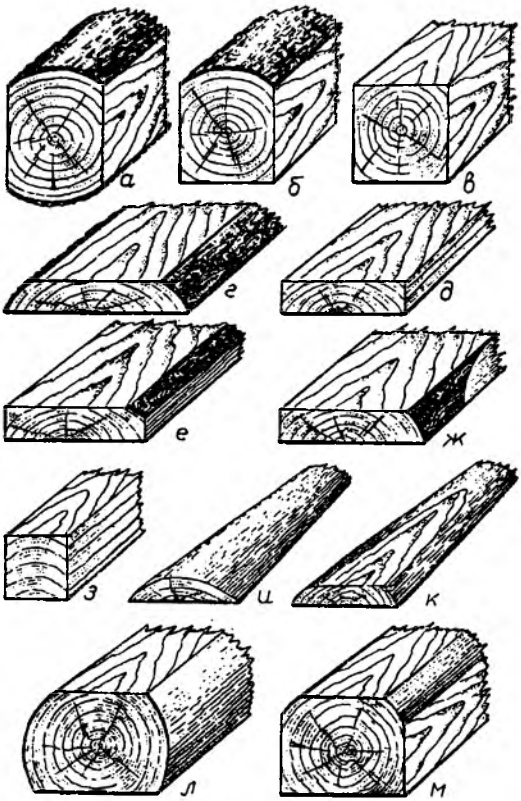


Рис. 109. Виды пилопродукции:
брусья: *а* – двухкантный; *б* – трехкантный; *в* – четырехкантный;
доски: *г* – необрезная; *д* – чисто обрезная; *е* – обрезная с тупым обзолом; *ж* – обрезная с острым обзолом; *з* – брусок; *и* – обапол горбыльный; *к* – обапол дощатый; *л* – шпала необрезная; *м* – шпала обрезная

У необрезных пиломатериалов (рис. 109, г) пласти пропилены, а кромки не пропилены. У обрезных пиломатериалов пропилены все четыре стороны, или же на кромках в допустимых размерах сохранилась часть поверхности бревна – обзол. Как указывалось ранее (глава 7), обзол может быть тупым (рис. 109, е) или острым (рис. 109, ж). Кроме того, пиломатериалы делятся на разновидности по направлению годичных слоев на торцах и месту выпиловки из бревна.

Хвойные пиломатериалы, согласно ГОСТ 24454-80, вырабатывают 16 размеров по толщине. Доски могут быть толщиной 16, 19, 22, 25 и

32 мм, доски и бруски 40, 44, 50, 60, 75, 100 мм, брусья – 120, 150, 175, 200 и 250 мм. У лиственных пиломатериалов стандартизовано 12 толщин: с 19 по 40 мм как у хвойных, затем 45, 50 мм и далее до 100 мм с градацией 10 мм. Пиломатериалы толщиной до 32 мм включительно называют т о н к и м и, а больших размеров – т о л с т ы м и.

Ширина обрезных хвойных пиломатериалов находится в диапазоне 75 – 275 мм. Из различных сочетаний толщины и ширины пиломатериалов образуется так называемая размерная сетка, включающая стандартизованные сечения пиломатериалов. Всего таких сечений 106, из них 72 – для досок, 15 – для брусков и 19 – для брусьев. Кроме того, для экспорта, платформ грузовых автомобилей, брусьев нефтяных вышек и мостовых брусьев стандартизовано еще 17 сечений. Для авто- и вагоностроения предусмотрены пиломатериалы шириной 110 и 130 мм.

У хвойных необрезных пиломатериалов ширина узкой пласти должна быть не менее 50 или 60 мм при толщине от 16 до 50 и от 50 до 100 мм соответственно; не менее 0,6 толщины у брусьев толщиной от 125 до 300 мм. Такие же требования к ширине обрезных пиломатериалов с непараллельными кромками, только у брусьев ширина в узком конце должна быть не менее 0,7 толщины.

У лиственных обрезных пиломатериалов ширина может быть от 60 до 110 мм с градацией 10 мм, а также 130, 150, 180 и 200 мм. Необрезные и односторонне обрезные лиственные пиломатериалы имеют ширину 50 мм и более с градацией 10 мм. Ширина узкой пласти в необрезных пиломатериалах не должна быть менее 40 мм.

Ширину необрезных и односторонне обрезных пиломатериалов определяют как полусумму ширин двух пластей, измеренных посередине длины сортимента, округляя результат до 10 мм.

Номинальные размеры пиломатериалов по толщине и ширине даны для древесины влажностью 20 %. При влажности более или менее 20 % фактические размеры должны быть установлены с учетом величины усушки (усадки) согласно ГОСТ 6782.1-75 (для хвойных пород и ГОСТ 6782.2-75 (для лиственных пород).

Пиломатериалы хвойных пород должны быть длиной от 1 до 6,5 м с градацией 0,25 м, для тары от 0,5 м с градацией 0,1 м, а для экспорта от 0,9 до 6,3 м с градацией 0,3 м. Среди лиственных пиломатериалов можно выделить короткие, длиной от 0,5 до 0,9 м; средние – от 1 до 1,9 м и длинные от 2 до 6,5 м. Из древесины твердых лиственных пород короткие, средние и длинные пиломатериалы изготовляют с градацией 0,1 м. Из древесины мягких лиственных пород и березы короткие и средние пиломатериалы изготовляют с градацией 0,1 м, а длинные – 0,25 м.

Предельные отклонения (в мм) от установленных размеров пиломатериалов не должны превышать по длине +50 и –25; по толщине для тонких ±1,0, а для толстых ±2,0 (у хвойных брусьев ±3,0); по ширине обрез-

ных ±2,0 или ±3,0, если ширина пиломатериалов соответственно меньше или больше 100 мм.

В зависимости от качества древесины для хвойных пиломатериалов – досок и брусков установлено 5 сортов: отборный (О), 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, а для брусьев – 4 сорта (нет отборного). У лиственных пиломатериалов установлено три сорта: 1-й, 2-й и 3-й.

В условном обозначении пиломатериала указывают его вид, сорт, породу, сечение (для необрезных – только толщину), стандарт. Например: "Доска-2 – сосна – 32×100 – ГОСТ 8486-86".

Основным сортообразующим пороком в пиломатериалах являются сучки. В зависимости от сорта установлены различные нормы допуска сучков. Так, здоровые, сросшиеся сучки у хвойных пиломатериалов шириной более 100 мм отборного сорта допускаются размером не более 20 мм в количестве не более 2 шт. на каждом метровом участке длины: у пиломатериалов 1-го сорта – размером не более 1/4 ширины пласти в количестве не более 3 шт.; 2-го сорта – не более 4 сучков размером не свыше 1/3 ширины пласти; 3-го сорта тоже не более 4 сучков, но размер их может достигать 1/2 ширины пласти; у пиломатериалов 4-го сорта эти сучки допускаются без ограничения.

Кроме сучков на сортность пиломатериалов оказывают влияние трещины, пороки строения древесины, грибные поражения, повреждения насекомыми, покоробленности, дефекты обработки. Нормы допускаемых пороков указаны в ГОСТ 8486-86 и ГОСТ 2695-83.

К пиломатериалам, предназначенным для обшивки судов, настила палуб, предъявляются дополнительные требования в отношении содержания ядра и заболони, расположения годичных слоев и т. д.

Определенные перспективы развития имеет производство конструкционных пиломатериалов с контролируемой прочностью и жесткостью. Согласно ТУ 13-722-83 "Доски конструкционные" эти пиломатериалы должны изготовляться из древесины сосны, ели, пихты, лиственницы, березы и осины. Размеры досок должны соответствовать требованиям ГОСТ 24454-80. Доски имеют два сорта: К24 и К19. Число, входящее в обозначение сорта, соответствует значению (в МПа) нормативного сопротивления изгибу при нагружении на кромку. Кроме того, для обоих сортов установлены нормативные сопротивления изгибу на пласть, продольному сжатию, растяжению и скалыванию, а также нормативный модуль упругости при влажности 12±2 %.

Нормативные показатели должны быть обеспечены сплошным визуальным или измерительным контролем досок. Визуальный контроль основан на определении в худшем участке длиной, равной двум ширинам доски, относительных совокупных размеров Z_k сучков прикромочной зоны (0,25 ширины доски) и Z_n сучков, выходящих на обе пласти. В ТУ приве-

дены допустимые значения Z_k и Z_n для обоих сортов досок из древесины сосны и ели разных регионов произрастания.

Измерительный контроль предполагает использование неразрушающего метода, рассмотренного в главе 6. Сортирующую машину, которая измеряет усилие реакции или прогиб, настраивают, используя приведенные в ТУ нормы модуля упругости, обеспечивающие требуемые показатели сопротивления изгибу, сжатию, растяжению. При отсутствии таких норм границы регулирования показателей жесткости определяют, применяя, согласно ГОСТ 21554.3-82, уравнения регрессии между пределом прочности и модулем упругости.

С целью повышения точности сортировки можно применить комбинированный измерительно-визуальный метод контроля. В указанном ТУ приведены также нормы допуска отклонений формы и шероховатости поверхности, а также пороков (гнили, червоточины, трещины, проросты), характеризующих состояние древесины. Влажность конструкционных досок должна быть не более 22 %.

Правила приемки, контроля, маркировки и транспортирования пиломатериалов изложены в ГОСТ 6564-84. Объем каждой штуки пиломатериала определяют по номинальным размерам длины, ширины и толщины, не учитывая припуска на усушку и допускаемые отклонения размеров. Для определения объемов используют таблицы, приведенные в ГОСТ 5306-83.

Правила атмосферной сушки и хранения пиломатериалов хвойных и твердых лиственных пород установлены ГОСТ 3808.1-80 и ГОСТ 7319-80; методы поверхностной антисептической обработки пиломатериалов хвойных пород с целью защиты их от синевы и плесени регламентируются ГОСТ 10950-78. Обычно пиломатериалы транспортируют в пакетах. В пакет укладываются пиломатериалы одной породы, толщины, сорта и не более четырех смежных длин (для экспортных пиломатериалов – одной длины). Пакеты состоят из стоп, отделенных прокладками. В свою очередь, пакеты входят в состав более крупных складочных, грузовых и транспортных единиц – блок-пакетов. Размеры пакетов и блок-пакетов установлены ГОСТ 16369-96, а правила формирования, упаковки, маркировки, транспортирования и хранения – ГОСТ 19041-85.

Авиационные пиломатериалы изготовляются из соответствующих кряжей хвойных пород и предназначаются для выработки заготовок и деталей, применяемых в самолетостроении, вертолетостроении, производстве авиационных винтов и лыж. В настоящее время по прямому назначению используются редко.

Из кряжей (см. гл. 11), древесина которых обладает высокими удельными характеристиками прочности, выпиливают доски и бруски. Эти пиломатериалы должны удовлетворять требованиям, изложенным в ГОСТ 968-68.

Обапол. Это крайняя часть бревна, остающаяся при выпиловке досок, прирезанная по длине и предназначенная для крепления горных выработок. Обапол может быть двух видов: горбыльный с непропиленной наружной поверхностью (рис. 108, и) и дощатый (рис. 108, к) с пропиленной более чем на половину длины наружной поверхностью. Обапол изготовляется из древесины хвойных пород, он должен быть окорен, опилен с торцов и очищен от сучьев вровень с наружной поверхностью.

Длина обапола находится в пределах от 0,8 до 2,75 м, толщина в вершинном конце от 16 до 35 мм, а ширина от 90 до 200 мм. Более подробно размеры обапола, требования к его качеству, правила обмера (объем измеряют в складочной мере), упаковки и другие вопросы изложены в ГОСТ 5780-77.

Экспортные пиломатериалы производятся в значительных количествах. Наши пиломатериалы отличаются высоким качеством и пользуются большим спросом на внешних рынках.

Имеются два действующих стандарта на экспортные пиломатериалы, ориентированных на разные рынки.

Для экспорта преимущественно в страны Европы и Азии пиломатериалы так называемой "северной сортировки" вырабатывают согласно ГОСТ 26002-83. На средиземноморский и южный рынок идут пиломатериалы "черноморской сортировки", которые вырабатывают согласно требованиям ГОСТ 9302-83.

Экспортные пиломатериалы "северной сортировки", поставляемые через беломорские, дальневосточные, Санкт-Петербургский и Игарские порты, вырабатывают из хвойных пород, главным образом из сосны и ели, а также пихты, лиственницы и кедра. Пиломатериалы подразделяют по толщине: на тонкие (от 16 до 22 мм), средние (от 25 до 44 мм) и толстые (от 50 до 100 мм); по ширине: на узкие (от 75 до 125 мм) и широкие (150 мм и выше), по длине: на короткие (от 0,45 до 2,40 м) и длинные (от 2,70 до 6,3 м). Сетка сечений установлена в соответствии с ГОСТ 24454-80. Размеры пиломатериалов по длине следующие: от 1,5 м и более с градацией 0,3 м и от 0,45 до 1,35 с градацией до 0,15 м.

Номинальные размеры экспортных пиломатериалов относятся к влажности, равной 20 %. По качеству древесины и ее обработке установлено пять сортов. Обычно пиломатериалы сортируют на три группы: бессортные (включающие 1, 2 и 3 сорта) и порознь пиломатериалы 4-го и 5-го сорта. Весьма жесткие требования к качеству древесины пиломатериалов каждого сорта установлены в ГОСТ 26002-83. Основные сортообразующие пороки: сучки, гнили, синева, а также обзол.

Предусматривается сортировка пиломатериалов по породам. Поставка пиломатериалов осуществляется по согласованным с потребителем спецификациям – стокнотам. Экспортные пиломатериалы должны пройти атмосферную или камерную низкотемпературную сушку до транспортной

влажности. Требования к пиломатериалам (в том числе конструкционным) по европейским стандартам изложены в справочнике [29].

§ 56. Заготовки

Заготовки общего назначения. Требования к заготовкам хвойных и лиственных пород отражены в ГОСТ 9685-61 и ГОСТ 7897-83. Заготовки предназначены для изготовления деталей, применяемых в строительстве, вагоностроении, сельхозмашиностроении, автостроении, судостроении, производстве мебели, паркета.

По виду обработки заготовки различаются на п и л е н ы е, полученные путем пиления, и к а л и б р о в а н н ы е, простроганные (профрезерованные) после пиления для придания точных размеров по толщине и ширине. Кроме того, выпускаются клееные заготовки, изготовленные из нескольких, более мелких, заготовок путем склеивания их по длине, ширине или толщине. Такие заготовки по существу представляют композиционные материалы.

Сетки поперечных сечений заготовок приближены к соответствующим размерным сеткам пиломатериалов. У хвойных заготовок в отличие от пиломатериалов предусмотрены толщины 7, 10 и 13 мм; наибольшая толщина заготовок 100 мм, а ширина 200 мм. Всего установлено 138 номинальных сечений. У лиственных заготовок наименьшая толщина 19 мм, а ширина 40 мм; наибольшая толщина заготовок 70 мм, а ширина – 150 мм. Всего установлено 89 номинальных сечений.

По размерам поперечного сечения различают заготовки т о н к и е (толщина до 32 мм включительно) и т о л с т ы е. Кроме того, выделяют д о с к о в ы е – шириной более двойной толщины и б р у с к о в ы е – шириной менее двойной толщины.

Длина заготовки установлена от 0,5 м до 1 м с градацией 50 мм, а свыше 1 м с градацией 100 мм. Хвойные заготовки для изготовления паркетных покрытий и лиственные заготовки для штучного паркета имеют разные размеры по длине, отличающиеся от размеров остальных заготовок.

Номинальные размеры заготовок по длине и ширине установлены для древесины влажностью 20 % (у хвойных пока 15 %). При большей или меньшей влажности древесины фактические размеры заготовок определяют согласно ГОСТ 6782.1-75 или ГОСТ 6782.2-75.

По качеству древесины и обработки хвойные заготовки делятся на четыре группы: 1, 2, 3 и 4-я, а лиственные – на три сорта: 1, 2, 3-й. Нормы допускаемых пороков и дефектов обработки для каждой группы или сорта установлены в ГОСТ 9685-61 и ГОСТ 7897-83. В качестве примера укажем, что в хвойных досковых заготовках при ширине пласти выше 110 мм допускается на любом метровом участке длины заготовки для первой группы не более 2-х сросшихся здоровых сучков размером менее 1/5 ши-

рины пласти (но не более 20 мм); для второй группы – 3-х сучков размером не более 1/4 ширины пласти; для третьей группы – 4-х сучков размером не более 1/3 ширины пласти и для четвертой группы – также не более 4-х сучков, но большего размера – до 1/2 ширины пласти.

Правила приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения заготовок приведены в соответствующих стандартах, которые были указаны при рассмотрении пиломатериалов.

Заготовки специального назначения. Требования к ним отражены в различных нормативных документах. Среди этой продукции: заготовки авиационные хвойных пород (ГОСТ 2646-71) и лиственных пород (ГОСТ 2996-79), заготовки для лож (ГОСТ 16424-83), лыжные заготовки (ГОСТ 48-91), заготовки деревянные резонансные для музыкальных инструментов (ТУ205 РСФСР 08.866-89), заготовки для весел (ГОСТ 12457-77) и др.

Кратко рассмотрим некоторые из этих сортиментов.

Заготовки л ы ж н ы е предназначаются для производства гоночных, спортивно-беговых, подростковых, туристских, лесных и детских лыж. Заготовки имеют шесть размеров по толщине от 13 до 27 мм. Ширина заготовок от 55 мм и более с градацией 5 мм, длина – от 1000 до 2400 мм с градацией 100 мм.

Заготовки вырабатывают из древесины березы, а отдельные детали многослойных лыж из клена, ясеня, бука, ильма и граба. По качеству древесины заготовки могут быть трех сортов. В числе ограничиваемых пороков: сучки, грибные поражения, пороки строения, трещины, покоробленность, обзол.

Заготовки р е з о н а н с н ы е предназначаются для изготовления дек клавишных, щипковых и смычковых инструментов. Вырабатывают заготовки из древесины ели и пихты кавказской, и по особому соглашению, из кедра сибирского.

В зависимости от назначения установлены различные размеры заготовок. Длина их может быть до 2500 мм, ширина от 35 до 135 мм, а толщина в пределах от 13 до 50 мм. Заготовки должны быть радиальной распиловки. К заготовкам для клавишных, щипковых и смычковых инструментов предъявляются дифференцированные требования в отношении показателей макроструктуры и пороков древесины [69].

§ 57. Пиленые детали

К пиленым деталям относятся, например, шпалы и переводные брусья железных дорог.

Ш п а л ы для железных дорог ш и р о к о й к о л е и. В зависимости от назначения шпалы могут быть трех типов: I – для главных путей, II – для станционных и подъездных путей и III – для малодеятельных подъездных путей промышленных предприятий. Шпалы также подразде-

ляются на необрезные (рис. 108, л), пропиленные только с двух противоположных сторон, и обрезные (рис. 108, м), пропиленные со всех четырех сторон. Согласно ГОСТ 78-89 шпалы I типа имеют толщину 180 мм, ширину верхней пласти 165 мм, а нижней – 250 мм, шпалы II и III типа имеют несколько меньшую толщину соответственно: 160 и 150 мм, ширина верхней пласти у них равна толщине, а нижняя пласть имеет размер 230 мм. Длина шпал для принятой в СНГ ширины колеи в 1524 мм обычно составляет 2750 мм. Однако, для особо грузонапряженных участков по специальным заказам изготовляют шпалы длиной 2800 мм и для участков, где укладывается совмещенный путь с различной шириной колеи, длиной 3000 мм.

Допускаются отклонения от установленных размеров по длине ±20 мм, по толщине ±5 мм; по ширине верхней пласти минус 10 мм плюс до ширины нижней пласти; по ширине нижней пласти минус 5 мм и плюс 20 мм.

Для изготовления шпал используются кряжи указанных в главе 11 пород. Влажность древесины может быть любой, однако, если она выше 22 %, то по толщине и ширине шпал должны быть предусмотрены припуски к номинальным размерам на усушку согласно ГОСТ 6782.1-75 или ГОСТ 6782.2-75.

В шпалах ограничен допуск пороков, влияющих на прочность древесины. По качеству различают шпалы 1-го и 2-го сорта. Особое внимание уделяется качеству древесины у шпал в местах расположения подрельсовых подкладок. Так, здоровые сросшиеся сучки в этих местах у шпал первого сорта должны быть размером не более 40 мм, а у шпал второго сорта – не более 60 мм. На остальных поверхностях сучки указанной разновидности допускаются больших размеров. Табачные сучки совсем не допускаются у шпал первого сорта, а у шпал второго сорта их может быть не более 3-х шт. размером не более 25 мм, при условии, что эти сучки не находятся в месте расположения подкладок. Вне зависимости от сорта шпал не допускаются: гнили – ядровые и мягкая заболонная; двойная сердцевина, одновременно метиковые и морозные трещины. Стандартом установлены определенные ограничения в допуске грибных ядровых пятен и полос, твердой заболонной гнили, ложного ядра, червоточины глубокой, трещин, наклона волокон, прорости и механических повреждений. Непропиленные поверхности шпал и обзольные участки обрезных шпал должны быть очищены от коры и луба. Шпалы учитываются в штуках; хранятся они в штабелях на прокладках или с перекрещивающимися рядами. Перед укладкой в путь шпалы пропитывают масляными антисептиками.

Шпалы для железных дорог у з к о й к о л е и такой же формы, как для широкой колеи, но меньших размеров. Согласно ГОСТ 8993-75 они изготовляются трех типов: I, II и III и могут быть обрезными и необрезными. У шпал I типа толщина и ширина верхней пласти 140 мм, ширина нижней пласти 230 мм. У шпал III типа толщина 130 мм, ширина верхней пласти

100 мм, а нижней – 190 мм. Длина шпал для колеи 600 мм равна 1200, для колеи 750 мм – 1500 и для колеи 900 мм – 1700 мм.

Нормы допускаемых пороков примерно соответствуют нормам для второго сорта шпал широкой колеи.

Брусья для стрелочных переводов железных дорог широкой и узкой колеи изготовляются соответственно по ГОСТ 8816-70 и ГОСТ 8992-75. По форме и поперечным размерам они близки к шпалам (имеют одинаковую толщину, но большую ширину, особенно верхней пласти). Длина переводных брусьев для широкой колеи составляет от 3,0 до 5,5 м с градацией 0,25 м. Для узкой колеи шириной 600 и 750 мм установлено десять размеров длины в диапазоне 1300 – 3000 мм, а для колеи 900 мм – тоже десять размеров в диапазоне 1600 – 3500 мм. Переводные брусья изготовляют из древесины тех же пород, что и шпалы. К качеству древесины предъявляются более высокие требования, чем у шпал. В отличие от шпал переводные брусья должны иметь высококачественную древесину по всей их длине (а не только в местах укладки подкладок); особое внимание уделяется состоянию древесины у наружных пластей. Нормы допускаемых пороков приведены в указанных выше стандартах. Широколейные переводные брусья учитываются и поставляются комплектами с разным набором брусьев в зависимости от назначения путей, типа рельсов и марки стрелочных переводов. Узколейные переводные брусья учитываются в комплектах или поштучно. Переводные брусья широкой колеи допускается изготовлять склеенными из отдельных элементов согласно ГОСТ 9371-90.

Шпалы для метрополитена согласно ГОСТ 22830-77 имеют толщину и ширину верхней пласти 165 мм, а ширину нижней пласти – 250 мм. Длина шпал 2650 мм, а также 900 мм (и кратной длины). Номинальные размеры установлены для влажности 18 %. Изготовляют шпалы из древесины сосны или березы, не допуская ряда пороков. Шпалы подвергаются пропитке маслянными антисептиками.

* * *

Разработанный ОАО «ЦНИИМЭ» и ООО «Лесэксперт» проект национального стандарта ГОСТ Р «Лесоматериалы и круглые и пиломатериалы. Общие требования» охватывает круг вопросов, относящихся к объектам действующих стандартов на пиломатериалы и заготовки.

В проекте нового стандарта представлена классификация пиломатериалов:

по форме и размерам поперечного сечения: доска, обрезная и необрезная доски, доска обрезанная по сбегу, брусок, брус, двухкантный и трехкантный брус, связка, обапол, горбыль. Связка – это необрезные пиломатериалы (без горбылей), полученные продольной распилов-

кой, собранные и связанные вместе в соответствии с их положением в бревне. Обапол в отличие от горбыля имеет две пропиленные поверхности.

по расположению в бревне: сердцевинная, центральные, боковая, радиальная, чисто радиальная, тангенциальная доски.

Сердцевинная доска содержит сердцевину, а центральные доски – это две смежные доски, симметричные относительно оси бревна. У чисто радиальной доски угол между пластью и годичными слоями должен быть не менее 80°.

по влажности и обработке антисептиками: сырые и сырые антисептированные, транспортно-сухие (влажность менее 25 %) и сухой (влажность 6 – 19 %) пиломатериал.

по степени обработки:

- неторцованные пиломатериалы; отклонения по длине соответствуют отклонениям по длине пиловочного бревна
- торцованные пиломатериалы; подвергавшиеся обработке торцев и удалению дефектных приторцовых участков; отклонения по длине соответствуют нормам для пиломатериалов
- черновые пиломатериалы не подвергавшиеся обработке, обеспечивающей допускаемые отклонения размеров по толщине и ширине
- калиброванные сырые пиломатериалы; допускаемые отклонения размеров по толщине и (или) ширине меньше чем у черновых пиломатериалов
- калиброванные сухие пиломатериалы; допускаемые отклонения размеров по толщине и ширине меньше чем у сухих черновых пиломатериалов
- строганые пиломатериалы, профрезерованные для получения допускаемой шероховатости поверхности по всей длине и ширине не менее чем по одной пласти
- профильные пиломатериалы со сложным фигурным сечением
- рифленые пиломатериалы с шероховатой поверхностью, полученной фрезерованием
- поверхностно структурированные пиломатериалы с проявленной путем обработки абразивным инструментом фактурой древесины
- готовые пиломатериалы с окончательными размерами (т.е. пиленые детали по ранее принятой терминологии)

по назначению: пиломатериалы стандартной сортировки, конструкционные пиломатериалы визуальной и машинной сортировки, столярные (для мебели и столярных изделий), половые, обшивочные, тарные (для тары и поддонов) пиломатериалы.

Кроме того, приведены сопутствующие пиломатериалы. В эту категорию входят короткомерные пиломатериалы, горбыли, рейки, оторцовки, используемые для производства технологической щепы, топливных брикетов или в качестве топлива.

Проекты новых стандартов содержат требования к методам измерения признаков пиломатериалов. В число признаков входят порода, форма и размер сортимента, ширина и угол наклона годичных слоев на торцах, влажность, пороки – сучки, обзол, наклон волокон, а также размеры чистых (без пороков) вырезок.

В отдельном проекте нормативных документов указаны номинальные размеры по толщине (16 – 200 мм), по ширине (75 – 275 мм) и длине (0,9 – 6,0 м).

Предусмотрена возможность изготовления пиломатериалов с размерами, отличающимися от стандартных. Даны припуски на усушку, учитываемые при распиловке; допускаемые отклонения, поштучный и групповые методы измерения объема пиломатериалов. Описаны процедура контроля качества и правила приемки пиломатериалов.

Также как для круглых лесоматериалов, разработан проект стандарта на требования к спецификации пиломатериалов, необходимого для рыночных условий. Спецификация содержит технические требования к пиломатериалам и является частью договора на их поставку.

Кроме того, разработан проект нормативного документа на пиломатериалы стандартной сортировки по внешнему виду. Этот проект предназначен для изготовления пиломатериалов многообразного назначения. Стандарт базируется на скандинавских правилах сортировки пиломатериалов NORDIC-TIMBER 1994 [64] и является аналогом действующих ГОСТ 8486-86, ГОСТ 26002-83, ГОСТ 9302-83, ГОСТ 2695-83. По этому стандарту в зависимости от качества установлено 4 сорта пиломатериалов.

§ 58. Методы испытаний пиломатериалов и заготовок

Методы определения влажности. Согласно ГОСТ 16588-91 могут быть использованы три метода. Рабочий метод, основанный на применении электровлагомеров любой конструкции с погрешностью измерения ±2 % влажности. Определение влажности пилопродукции проводится в диапазоне от 7 до 28 %. Используют влагомеры, принцип действия которых рассмотрен в главе 4 § 11. Влажность измеряют на середине ширины пласти пилопродукции, на половине длины коротких досок или заготовок (менее 1,5 м) и на 2 – 4 участках у более длинных досок. Измерения проводят, отступя не менее 50 см от торца. За влажность участка принимают среднее значение трех измерений. Вычисляют среднюю влажность единицы пилопродукции и выборки из партии, округляя результат до 1 %.

Контрольный сушильно-весовой метод применяют при любой влажности, отсутствии влагомеров, а также при возникновении разногласий. Используют метод, аналогичный описанному в главе 4, с учетом больших размеров образцов и их количества. Образцы в виде попереч-

ного среза толщиной (вдоль волокон) 10 – 20 мм выпиливают, отступя от торца не менее 50 см. Массу образцов определяют с погрешностью не более 0,1 г. Сушку проводят при температуре 103±2 °С. Все образцы считают высушенными, если изменение массы трех, произвольно выбранных, образцов при последовательных взвешиваниях с интервалом 2 часа не превышает 1 %. Влажность образца вычисляют по формуле 4.

Ускоренный сушильно-весовой метод предусматривает сушку образцов при температуре (120±2) °С в сушильных шкафах типа СЭШ-3М с принудительной циркуляцией. Продолжительность сушки в этом случае составляет 2 – 2,5 часа. Конечную массу определяют после охлаждения образцов в комнатных условиях в течение 2 – 5 мин. В обоих сушильно-весовых методах предусмотрено вычисление средней влажности выборки из партии пилопродукции.

Методы определения прочности и жесткости. Эти методы во многом сходны с методами испытаний малых чистых образцов древесины. Однако они отличаются размерами (иногда и формой) образцов, требованиями к качеству древесины в образцах, приспособлениями и процедурой испытаний. Способы статистической обработки результатов испытаний такие же, как для малых образцов древесины, а влажность определяется методами, которые рассмотрены выше в этом параграфе.

Определение прочности при продольном сжатии. Образцы имеют натурные размеры, отличаясь от пиломатериалов и заготовок только длиной, которая должна быть в 5 раз больше толщины. Определяют минимальную прочность, поэтому образец выпиливают так, чтобы он включал наиболее слабое, из-за наличия пороков, сечение сортимента. Это сечение должно находиться в образце на расстоянии не менее одной толщины от каждого торца. Образец устанавливают в приспособлении с шарнирным устройством для центрирования усилий, выполненным согласно ГОСТ 21554.4-78, и нагружают со скоростью (0,15±0,05) МПа/с. Определив при разрушении максимальную нагрузку P_{max} и измерив предварительно поперечное сечение образца, вычисляют предел прочности по формуле (87).

Определение прочности при продольном растяжении. Для испытаний используют не фигурный, а плоский образец натурных размеров с длиной рабочей части (свободной от захватов), превышающей ширину доски (заготовки) не менее чем в 8 раз. Образец должен включать наиболее слабое сечение (из-за пороков) сортимента, которое должно быть в пределах средней по длине зоны образца, распространяющейся на 1,5 ширины по обе стороны от центра. Образец после измерения размеров поперечного сечения зажимают в захватах машины, снабженных согласно ГОСТ 21554.5-78 клиновидными губками с рифленой поверхностью и скосом, постепенно уменьшающим боковое давление. Об-

разец нагружают со скоростью (0,15±0,05) МПа/с и определяют P_{max}. Предел прочности вычисляют по формуле (87).

Метод определения прочности при статическом изгибе. Образец натурных размеров, длина его равна 21 – 22 высотам. Высота h равна размеру сечения образца в направлении приложения нагрузки. Сортообразующие пороки должны быть расположены на средней трети длины образца. Испытания проводят согласно ГОСТ 21554.2-81 по схеме с нагружением в двух точках. Радиус опор и нажимных элементов равен 1,5*h*. Пролет *l* должен составлять 18*h*. Нагружают образец с такой скоростью, чтобы его разрушение произошло не менее чем через 2 и не более чем через 5 минут. Определяют P_{max} (в Н) и, используя предварительно измеренные значения (в мм) ширины *b*, высоты *h* и пролета *l*, вычисляют предел прочности (в МПа) по формуле

$$\sigma = \frac{P_{max} l}{bh^2}. \qquad (123)$$

Определение прочности при скалывании вдоль волокон. Форма и размеры образца (в мм) указаны на рис. 110, размер *b* равен толщине пиломатериала или заготовки. Образец не должен иметь пороков древесины, увеличивающих сопротивление скалыванию, а также трещин в плоскости скалывания. Наклон волокон в образце должен быть типичным для всего сортимента (доски, бруса и т. д.). Образец помещают в приспособление, изготовленное согласно ГОСТ 21554.6-78, и прикладывают нагрузку к правой укороченной части образца. Левая часть образца находится на опоре. Зазор между ребром опоры и плоскостью ожидаемого скалывания должен составлять 3 мм. Образец нагружают при скорости перемещения активной головки машины (0,6±0,15) мм/мин, определяют P_{max} и вычисляют предел прочности по формуле (91).

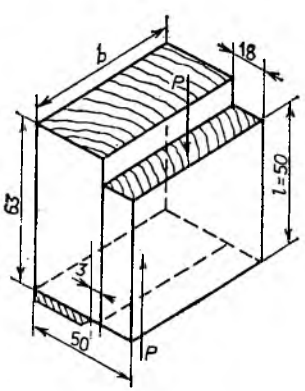


Рис. 110. Образец для испытания на скалывание вдоль волокон пиломатериалов и заготовок

Рассмотренные методы используются, как отмечалось, для определения сорта конструкционных пиломатериалов. Кроме того, ГОСТ 21554.7-78 устанавливает метод определения предела прочности пиломатериалов и заготовок при смятии поперек волокон. Показателями контактной прочности при поперечном смятии служат: условный предел прочности, равный пределу пропорциональности между напряжениями и

деформациями, или величина напряжений, соответствующая заданной деформации (2,5 мм) образца. Испытания проводят на образцах длиной 150 мм и высотой 50 мм, выпиленных из прикромочной зоны пиломатериала или заготовки во всю их толщину. Нагрузку передают через пуансон на участок длины образца, равный 50 мм. Нагружают рабочую поверхность образца, соответствующую кромке пиломатериала или заготовки.

Определение шероховатости поверхности. Для оценки состояния поверхности лесоматериалов и композиционных древесных материалов применяют параметры шероховатости согласно ГОСТ 7016-82. В зависимости от вида материала и способа механической обработки используют один или несколько параметров из следующей номенклатуры: Rm_{max}; Rm; Rz; Ra и Sz. Параметры Rm_{max} – это среднее арифметическое не менее 5 высших значений высот неровностей на контролируемой поверхности материала. Высота неровности равна разнице уровней выступа и смежной впадины. Параметр Rm – это наибольшая высота профиля, т. е. совокупности неровностей, в пределах базовой длины. Базовая длина представляет собой протяженность участка, используемого для выделения неровностей, характеризующих шероховатость данной поверхности. Параметр Rz – это среднее арифметическое высот неровностей профиля по 5 высшим отклонениям уровней выступов и впадин от средней линии профиля в пределах базовой длины. Параметр Ra – это среднее арифметическое из абсолютных значений всех отклонений профиля от средней линии в пределах базовой длины. Параметр Sz – это средний шаг впадин неровностей, характерных для данного вида обработки.

Для определения Rm_{max} (старое обозначение Rz_{max}) согласно ГОСТ 15612-85 используют индикаторный глубиномер, а также оптические приборы (микроскопы) ТСП-4М и МИС-11. Другие параметры определяются профилографами или без записи профиля – с помощью профилометров.

Эти параметры устанавливают для всей контролируемой поверхности как среднее арифметическое значений каждого параметра, полученных на различных участках поверхности.

Шероховатость поверхности пиломатериалов и заготовок обычно оценивают по параметру Rm_{max}. Значения этого параметра для поверхности после рамного пиления древесины хвойных пород находятся в пределах от 500 до 1600 мкм, а древесины лиственных пород – от 320 до 1000 мкм, для поверхности после пиления дисковыми пилами древесины всех пород – в диапазоне от 40 до 800 мкм.

ГЛАВА 13. СТРОГАНЫЕ, ЛУЩЕНЫЕ, КОЛОТЫЕ ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ; ИЗМЕЛЬЧЕННАЯ ДРЕВЕСИНА

§ 59. Строганые, лущеные и колотые лесоматериалы

Путем **строгания** вырабатывают шпон, штукатурную дранъ, стружку упаковочную и другого назначения.

Строганый шпон представляет собой тонкие листы древесины, отличающиеся красивой текстурой и цветом (см. главу 4 § 10). Этот облицовочный материал изготовляют из древесины многих наших лиственных пород (чаще из дуба, ясеня, бука), а также из экзотических пород: красного дерева, лимонного дерева и др. Строганый шпон получают из древесины и некоторых хвойных пород: лиственницы, сосны.

Для изготовления шпона окоренные кряжи раскраивают на чураки, из которых продольной распиловкой получают брусья или ванчесы – части двухкантных брусьев с тремя пропиленными продольными сторонами. После пропаривания брусьев их подвергают строганию на шпонострогальных станках. Схема получения строганого шпона показана на рис. 111.

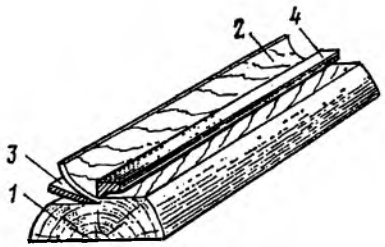


Рис. 111. Схема получения строганого шпона:
1 – брус; *2* – шпон; *3* – нож; *4* – прижимная линейка

В зависимости от плоскости строгания различают шпон четырех видов: радиальный (Р), полурадиальный (ПР), тангенциальный (Т) и тангенциально-торцовый (ТТ). Согласно ГОСТ 2977-82 полурадиальным называют шпон, у которого прямые параллельные линии годичных слоев видны не менее чем на 3/4 площади листа. У тангенциально-торцового строганого шпона, получаемого из наростов, годичные слои имеют вид замкнутых кривых линий, а сердцевинные лучи – вид кривых линий или штрихов.

По качеству древесины и чистоте обработки шпон делится на два сорта. В шпоне первого сорта не допускаются несросшиеся и частично сросшиеся сучки, червоточина, трещины, внутренняя заболонь, пятнистость, пророст темная, царапины, риски. Некоторые пороки допускаются с ограничениями. Для шпона второго сорта требования к качеству древесины соответственно снижены. Параметр шероховатости Rm_{max} должен быть не более 200 мкм для дуба, ясеня, ильма, лиственницы, сосны и красного дерева; для древесины остальных пород – не более 100 мкм. Толщина

шпона в зависимости от породы и текстуры: от 0,4 до 1,0 мм с градацией 0,1 мм. У шпона Т, ПР, Р длина для 1-го и 2-го сорта соответственно: 900 или 400 мм и более с градацией 50 мм; ширина – 120 или 60 мм и более с градацией 10 мм. У шпона ТТ длина и ширина 200 мм или 100 мм и более; соответственно для 1-го и 2-го сорта.

Высушенные до влажности 8±2 % листы шпона укладываются в пачки в порядке выхода их при строгании бруса. В пачке должно быть четное количество листов и не менее 10 шт. Из пачек комплектуют пакеты, массой от 80 до 500 кг, включающие шпон одной породы, сорта и толщины. Шпон учитывают в квадратных метрах.

Штукатурную дрань (ОСТ 13-2-73) получают из отходов древесины хвойных и мягких лиственных пород не только путем строгания, но и раскалыванием или пилением. Штукатурная дрань используется при строительстве жилых зданий. Толщина драни 4 мм, ширина 19, 22, 25 и 32 мм, длина от 500 до 1500 мм с градацией 100 мм. Не допускаются гнили и сучки загнившие, гнилые и табачные. Ограничиваются здоровые сучки, трещины, наклон волокон, обзол и покоробленность.

Стружка упаковочная также получается строганием, но из-за малости размеров ее относят к измельченной древесине (см. следующий параграф).

Путем **лущения** получают шпон в виде непрерывной ленты древесины. Схема лущения чурака показана на рис. 112. После выхода из лущильного станка ленту шпона до или после сушки разрезают на форматные листы. Лущеный шпон вырабатывают в качестве полуфабриката или товарной продукции, используя для изготовления фанеры, клееных элементов строительных конструкций, спичек, слоистых пластиков; для облицовки, упаковки пищевых продуктов и других целей.

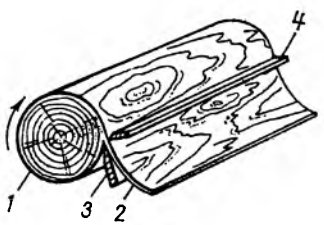


Рис. 112. Схема получения лущеного шпона: *1* – чурак; *2* – шпон; *3* – нож; *4* – прижимная планка

Лущеный шпон предназначен для изготовления слоистой клееной древесины и облицовки поверхности изделий из древесины. Шпон, применяемый для облицовки, отличается от строганого шпона меньшей декоративностью, но имеет большие размеры листов. Согласно ГОСТ 99-96 шпон имеет размеры по длине от 800 до 3750 мм с градацией 100 мм, по ширине – от 150 до 750 мм с градацией 50 мм и от 800 до 3750 мм с градацией 100 мм. Толщина шпона из древесины лиственных пород: 0,55; 0,75; 0,95; 1,15 мм и от 1,25 до 4,00 мм с градацией 0,25 мм, а из древесины хвойных пород – от 1,20 до 4,00 мм с градацией 0,4 мм, а от

4,0 до 6,5 мм с градацией 0,5 мм. В зависимости от качества древесины и обработки шпон лиственных пород подразделяют на пять сортов: Е (элита), I, II, III, IV, а шпон хвойных пород – на Ех (элита), Iх, IIх, IIIх, IVх. К качеству шпона сорта Е предъявляются очень высокие требования: не допускаются булавочные, здоровые полностью и частично сросшиеся, выпадающие сучки, червоточина, прорость, грибные и химические окраски, ложное ядро, гнили и другие пороки, а также дефекты обработки. У остальных сортов требования к качеству древесины соответственно снижаются. Так, у шпона сорта IV допускаются сросшиеся здоровые сучки, сомкнутые трещины, прорость, ложное ядро, окраски, дефекты обработки, с некоторыми ограничениями допускаются другие пороки. Требования к качеству шпона хвойных пород ниже, чем у шпона лиственных пород.

Шпон изготовляют из древесины пород, указанных в главе 11 § 53. Параметр шероховатости поверхности шпона для наружных слоев из древесины лиственных пород должен быть не более 200 мкм, а из хвойных – 320 мкм. Влажность шпона (6±2)%.

Путем **раскалывания** заготовляют колотые балансы. Удаление ядровой гнили из низкокачественной древесины при расколке поленьев позволяет получить полноценное сырье для выработки целлюлозы и древесной массы. Колотые балансы, которые поставляются только в окоренном виде, должны иметь согласно ГОСТ 9463-88 и ГОСТ 9462-88 размеры по расколу и по внешней окружности не менее 50 мм. Таким же требованиям должна удовлетворять и дровяная древесина для технологических нужд. Древесина толщиной более 60 см поставляется в расколотом виде, при этом наибольший размер поперечного сечения не должен превышать 40 см. Раскалывание как способ деления круглых лесоматериалов на заготовки в настоящее время применяется довольно редко, оно заменяется пилением. Среди колотых сортиментов можно отметить клепку бочарную, колесный обод, санный полоз и др.

§ 60. Измельченная древесина

К измельченной древесине согласно ГОСТ 23246-78 относятся: щепа, дробленка, стружка, опилки, древесная мука и пыль. Некоторые из них, например, дробленка – довольно крупные частицы и древесная пыль – несортированные очень мелкие частицы (размером менее 1 мм) используются только как полуфабрикаты в производстве композиционных материалов. Другие виды измельченной древесины вырабатывают не только как полуфабрикаты, но и как товарную продукцию. Рассмотрим кратко стандартизованные виды измельченной древесины.

Щепа. Этот вид продукции получают путем измельчения древесного сырья рубильными машинами или соответствующими рабочими узлами в составе технологической линии. Различают технологическую щепу, зеле-

ную щепу (с примесью коры, хвои, листьев) и топливную щепу. Наибольшее значение имеет технологическая щепа, выпуск которой за последнее десятилетие увеличился более чем в 3 раза.

Технологическая щепа согласно ГОСТ 15815-83 выпускается 8 марок. В целлюлозно-бумажное производство идет щепа трех марок, определяющих следующие назначения: Ц-1 – сульфитная целлюлоза и древесная масса для бумаги с регламентируемой сорностью; Ц-2 – те же полуфабрикаты для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью, сульфатная и бисульфитная целлюлоза для бумаги и картона с регламентируемой сорностью; Ц-3 – сульфатная целлюлоза и различные виды полуцеллюлозы для бумаги и картона с нерегламентируемой сорностью. В гидролизную промышленность поступает щепа также трех марок для получения: спирта, дрожжей, глюкозы и фурфурола (ГП-1); пищевого кристаллического ксилита (ГП-2); фурфурола и дрожжей при двухфазном гидролизе (ГП-3). Для производства древесноволокнистых плит (ДВП) используют щепу ПВ, а для древесностружечных (ДСтП) – щепу марки ПС.

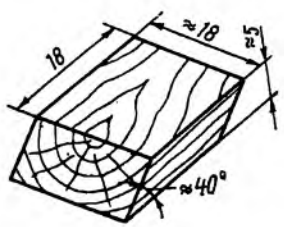
В зависимости от назначения установлены размеры щепы, приведенные в таблице 60.

60. Размеры технологической щепы

Назначение щепы	Длина, мм	Толщина не более, мм
Для целлюлозно-бумажного производства	15-25	5
Для гидролизного производства	5-35	5
Для производства древесноволокнистых плит	10-35	5
Для производства древесностружечных плит	10-60	30

Длина щепы измеряется по направлению волокон древесины. Особые требования предъявляются к качеству срезов щепы для целлюлозно-бумажного производства (рис. 113). Для того чтобы обеспечить проникновение варочного раствора в глубь древесины, срезы должны быть чистыми, без мятых кромок: угол среза находится в диапазоне 30–60°. В щепе не допускаются обугленные частицы и металлические включения. Жесткие требования установлены в отношении засоренности минеральными примесями. Ограничен допуск гнили и коры для щепы различных назначений.

Рис. 113. Щепа для выработки целлюлозы



Древесина всех хвойных и лиственных пород используется при производстве щепы для получения сульфатной целлюлозы и полуцеллюлозы, дрожжей, спирта, ДВП и ДСтП. Породный состав щепы остальных назначений дифференцирован с учетом химических свойств и строения дре-

весины. Например, для производства глюкозы идет щепа из древесины хвойных пород, для фурфурола – лиственных пород, а для ксилита – березы. В ряде случаев допускается использовать щепу из смеси пород, согласно установленным в стандарте соотношениям. Щепа учитывается в кубических метрах плотной массы с округлением до 0,1 $м^3$. Для перевода насыпного объема щепы в объем плотной массы применяют коэффициенты, которые зависят от вида транспорта и дальности перевозок.

Технологические древесные опилки. Этот вид измельченной древесины используют для получения целлюлозы, продукции лесохимических и гидролизных производств, изготовления древесных плит.

Опилки технологические для гидролиза, получающиеся при распиловке лесоматериалов, должны отвечать ряду требований, установленных ГОСТ 18320-78. Для гидролизных заводов спиртового и дрожжевого профиля могут использоваться опилки из древесины одних хвойных или лиственных пород; допускается использование смеси хвойных и лиственных опилок (но для выработки спирта должно быть не менее 70 % хвойных). Для заводов фурфурольного профиля допускают опилки из древесины только лиственных пород.

Опилки не должны содержать более 8 % коры, 5 % гнили и 0,5 % минеральных примесей. Среди опилок мелких частиц древесины, прошедших через сито с отверстиями диаметром 1 мм, должно быть не более 10 %, а крупных, оставшихся на сите с отверстиями диаметром 30 мм, – не более 5 %. Технологические опилки учитывают в кубических метрах плотной массы, используя переводные коэффициенты.

Стружка древесная изготовляется из круглых лесоматериалов, кусковых отходов лесопиления, деревообработки, фанерного и спичечного производства. Стружка предназначается для упаковки продовольственных и промышленных товаров, для изготовления фибролитовых плит и др. В зависимости от назначения по ГОСТ 5244-79 установлено 6 марок стружки. Толщина стружки может быть от 0,05 до 0,50 мм, а ширина от 2 до 8 мм. Длина стружки от 200 до 530 мм. В большинстве случаев используется древесина хвойных и мягких лиственных пород. Например, для упаковки фруктов применяется тонкая и узкая стружка только из древесины ели, липы и осины, а для упаковки яиц – более крупная стружка из ели и пихты. Не допускаются гнили и плесень на древесине стружек всех назначений. Требования к допуску грибных окрасок и ядровых пятен для стружек разных назначений дифференцированы.

Мука древесная представляет собой продукт сухого механического измельчения отходов лесопиления и деревообработки.

Древесная мука используется в качестве наполнителя, фильтрующего материала, поглотителя и применяется в производстве пластмасс, линолеума, промышленных взрывчатых веществ и для других целей. В зависимости от назначения применяется древесина хвойных или лиственных по-

род (или их смеси). Требования к физико-химическим свойствам, гранулометрическому составу и др. изложены в ГОСТ 16361-87, а методы испытаний древесной муки регламентированы ГОСТ 16362-86.

ГЛАВА 14. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МОДИФИЦИРОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА

Композиционные древесные материалы можно подразделить на две подгруппы: клееная древесина и материалы на основе измельченной древесины.

§ 61. Клееная древесина

Понятием "клееная древесина" согласно ГОСТ 15024-79 охватывается три вида материалов: слоистая клееная древесина, массивная клееная древесина и комбинированная клееная древесина.

К первому виду относится продукция, полученная из шпона: фанера, фанерные плиты, древесные слоистые пластики, а также гнутоклееные изделия и др. Ко второму виду относится продукция, полученная из массивной древесины: клееные доски, бруски, брусья, плиты, используемые в качестве полуфабрикатов, заготовок, деталей и изделий. К третьему виду относятся материалы, полученные путем сочетания массивной древесины и шпона, – столярные плиты.

Некоторые из перечисленных разновидностей клееной продукции представляют собой не материалы, а готовые изделия; другие – перерабатываются в рамках одного производственного предприятия и не являются товарной продукцией; на третьи – еще нет государственных стандартов.

Ниже кратко рассматривается стандартизованная товарная продукция (материалы) из клееной древесины. Более подробные сведения об этих материалах и другой клееной продукции даны в отдельных курсах [18 и др.].

Фанера. Этот наиболее распространенный слоистый древесный материал, который, согласно терминологическому стандарту ГОСТ 15812-87, представляет собой три или более склеенных между собой листов лущеного шпона с взаимно перпендикулярным расположением волокон в смежных слоях. Темпы производства фанеры в мире непрерывно возрастают. Фанера используется в строительстве, судостроении, вагоностроении, машиностроении и других отраслях промышленности. Многообразное и широкое применение фанеры обусловлено тем, что по сравнению с пиломатериалами она обладает меньшей анизотропностью; пониженной способностью разбухать, усыхать, коробиться и растрескиваться; может быть изго-

товлена в виде больших листов при сравнительно малой толщине; легко принимает криволинейную форму и имеет ряд других преимуществ.

Фанера общего назначения применяется в мебельном производстве, в судо-вагоно-автостроении и в других отраслях промышленности, строительстве. При изготовлении фанеры применяют шпон из древесины лиственных (преимущественно березы) или хвойных пород. Фанера может быть из древесины одной или различных пород. В зависимости от древесной породы, из которой изготовлены наружные слои, фанеру называют березовой, сосновой и т. д. Согласно ГОСТ 3916.1-96 и ГОСТ 3916.2-96 на фанеру с наружными слоями из шпона, соответственно, лиственных и хвойных пород различают две марки фанеры: ФСФ – повышенной водостойкости, на фенолформальдегидных клеях; ФК – водостойкую, на карбамидных клеях. По экологическим соображениям фанера делится на 2 класса эмиссии формальдегида Е1, Е2 (наибольшее содержание формальдегида у фанеры класса Е2).

Наиболее распространенные размеры листов фанеры по длине (в направлении волокон наружного слоя) и ширине следующие (в мм): 1525×1525. Развивается производство большеформатной фанеры с размерами по длине (ширине) 1830–3660 мм. Номинальная толщина фанеры (в мм): 3 (только у хвойной); 4; 6,5; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 27; 30. Количество слоев шпона зависит от толщины фанеры и составляет для лиственной 3-21, а для хвойной 3-13. Фанера может быть шлифованной с одной ($Ш_1$) или двух ($Ш_2$) сторон и нешлифованной (НШ). Сорт фанеры определяется сортом шпона (см. §59 гл.13) наружных слоев. В качестве оборотного слоя может быть использован шпон того же или любого более низкого, чем у лицевого слоя сорта. Таким образом фанера может иметь сорта: Е/Е, I/I, … Е/I, I/II … Е/II, I/III … Е/III, I/IV всего 14 сортов.

У хвойной фанеры в обозначениях добавляется индекс "х": Ех/Ех; Iх/Iх и т.д. В числителе указан сорт лицевого, а в знаменателе – оборотного слоев фанеры. В стандартах даны нормы ограничения пороков и дефектов фанеры для каждого сорта, а также пределы прочности фанеры. Влажность фанеры должна быть 5-10 %. Фанера учитывается в кубических или квадратных метрах.

Условное обозначение фанеры должно включать: наименование продукции, породу древесины наружных и внутренних слоев, марку, сорт, класс эмиссии, шлифованность, размеры, стандарт. Например, "Фанера, береза/сосна, ФСФ, I/III, EI; $Ш_2$; 2440×1525×12,0 ГОСТ 3916.1-96".

Фанера, облицованная строганым шпоном, предназначена для отделки помещений, производства мебели и других изделий. От фанеры общего назначения эта фанера отличается тем, что один или оба наружных слоя представляет собой строганый шпон из древесины ценных пород (см. §59 гл.13). Согласно ОСТ 13-222-88 облицованная фанера может быть двух марок: ФОФ – на фенолформальдегидных клеях и ФОК – на кар-

бамидных клеях. По текстуре строганого шпона различают фанеру радиальную, полурадиальную и тангенциальную. Толщина фанеры – от 4 до 10 мм.

В зависимости от качества древесины строганого шпона облицованная фанера выпускается двух сортов: 1 и 2-го.

Древесные породы для оборотного слоя (при односторонней облицовке) и качество внутренних слоев такие же, как у фанеры общего назначения.

Фанера декоративная применяется как отделочный материал в строительстве и промышленности. Она имеет облицовку пленочными покрытиями в сочетании с декоративной бумагой или без бумаги.

Декоративная фанера согласно ГОСТ 14614-79 выпускается четырех марок: ДФ-1 с прозрачным бесцветным или окрашенным пленочным покрытием и ДФ-2 с пленкой и декоративной бумагой, имитирующей текстуру ценных пород древесины, или имеющей другой рисунок; ДФ-3 и ДФ-4 соответственно с прозрачным и непрозрачным покрытием повышенной водостойкости. В фанере первых двух марок используются карбамидомеламиноформальдегидные смолы, а остальных – меламиноформальдегидные смолы. Облицовка глянцевая или полуматовая может быть на одной или обеих сторонах листа фанеры.

Декоративная фанера выпускается таких же форматов, как и фанера общего назначения; толщина ее – от 3 до 12 мм. Для изготовления декоративной фанеры применяется шпон из древесины березы, ольхи, липы, осины и тополя. Для внутренних слоев фанеры допускается применять шпон из древесины сосны и лиственницы. Декоративную фанеру изготовляют 1-го и 2-го сорта. Эта фанера, как и облицованная шпоном, учитывается в $м^2$.

Фанера бакелизированная применяется как конструкционный материал, отличается повышенной водостойкостью, атмосферостойкостью и прочностью (по прочности приближается к низколегированным сталям).

Бакелизированная фанера изготовляется из березового лущеного шпона и согласно ГОСТ 11539-83 выпускается шести марок: ФБС, $ФБС_1$, ФБВ, $ФБВ_1$, ФБС-А и $ФБС_1$-А. Они отличаются видами фенолформальдегидных смол (спирторастворимая или водорастворимая смола, на что указывают последние буквы марки) и способами обработки ими шпона (пропитка или нанесение).

Для изготовления конструкций в машиностроении, авто- и судостроении и строительстве, работающих в атмосферных условиях применяется фанера марок ФБС, $ФБС_1$; для конструкций, работающих в помещениях, а также при условии защиты лакокрасочными покрытиями, на открытом воздухе – ФБВ, $ФБВ_1$; для изготовления внутренних конструкций, применяемых в автомобилестроении, используется фанера марок ФБС-А и $ФБС_1$-А. Бакелизированная фанера вырабатывается восьми форматов от

1500×1200 до 7700×1550 мм. Установлено семь размеров толщины фанеры в диапазоне от 5 до 18 мм.

Фанера березовая авиационная изготавливается из трех и более нечетных слоев лущеного шпона, склеенных синтетическими клеями. Согласно ГОСТ 102-75 фанеру выпускают четырех марок: БП-А и БП-В, в которой использована для склеивания шпона бакелитовая пленка марки А или В; БС-1, склеенная смолой С-1; БПС-1В с наружными слоями, состоящими из двух одинаково расположенных листов шпона, склеенная при толщине 2; 2,5 и 3,0 мм бакелитовой пленкой В, а при толщине 4, 5, 6 мм – смолой С-1 (внутренние слои) и пленкой (наружные слои).

Толщина фанеры марок БП-А и БП-В равна от 1 до 3 мм с градацией 0,5 мм, а марки БС-1 – от 3 до 6 мм с градацией 1 мм и от 6 до 12 мм с градацией 2 мм. Размеры фанеры по ширине от 800, а по длине от 1000 до 1525 мм с градацией 25 мм. Фанеру выпускают 1 и 2 сорта с разными нормами допускаемых пороков. Установлены дифференцированные требования к механическим характеристикам. Правила приемки, в частности, предусматривают световую дефектоскопию. Фанера учитывается в $м^2$.

Фанерные плиты. Эти весьма широко применяемые в различных отраслях промышленности клееные материалы характеризуются тем, что включают не менее семи слоев лущеного шпона и имеют значительную толщину. Согласно ГОСТ 8673-93 фанерные плиты в зависимости от ориентации листов шпона и назначения выпускают семи марок: ПФ-А – вагоностроение, сельхозмашиностроение и др.; ПФ-Б – сельхозмашиностроение, автостроение и др.; ПФ-Х и ПФО-Х – изготовление ручек и крюков хоккейных клюшек; ПФД-Х – изготовление цельноклееных детских клюшек; ПФ-Л – изготовление лыж. Плиты могут быть облицованы строганым шпоном. Для внутренних слоев используют березовый, липовый, сосновый шпон. Плиты выпускают тех же форматов, что и фанеру. Толщина плит составляет от 8 до 78 мм. В зависимости от качества древесины установлено 8 сортов для необлицованных плит разных марок и по 2 сорта для одно- и двухсторонне облицованных плит. Фанерные плиты учитывают в $м^3$.

Огнезащищенная фанера (ОЗФ). Разработанная МГУЛ трудногорючая фанера выпускается двух видов: для вагонов метрополитена (ТУ 13-971-94) и для вагоностроения (ТУ 13-972-98). Пропитанная растворами антипирена на всю толщину, трудногорючая фанера обладает умеренной способностью образовывать дым и токсичные продукты горения. Фанера для метрополитена имеет на поверхности смоляное покрытие, что обеспечивает повышенную био-водостойкость.

Композиционный шпон. Этот листовой композиционный материал, созданный по технологии «фаин-лайн» нашел у нас в последние годы достаточно широкое распространение. Технология позволяет получать шпон, имитирующий традиционные древесные породы, а также новые декоративные текстуры. Сырьем служит древесина итальянского черного тополя

или африканской породы: обече (аюс). Листы лущеного шпона толщиной 0,8 – 1,0 мм, прокрашивают в цвет имитируемой породы и склеивают в блок.

Требуемая текстура шпона обеспечивается соответствующим рельефом пресс-формы при склеивании. Из блоков строганием получают композиционный шпон толщиной 0,5 – 3,0 мм, шириной до 900 мм и длиной 3400 мм. Материал применяется для облицовки деталей мебели и интерьера.

Клееный брус из шпона ЛВЛ (Laminated Veneer Lumber). Этот композиционный материал отличается от фанеры параллельным расположением волокон в листах пакета шпона. Высокопрочный бездефектный конструкционный и отделочный материал пользуется большим спросом за рубежом и начинает применяться в нашей стране. Для изготовления его используют лущеный шпон толщиной 2,5 – 3,2 мм и фенолформальдегидную смолу. Толщина бруса 21 – 75 мм, ширина бруса (плиты) от 80 до 1800 мм, а длина – от 2,5 до 18 м. Влажность бруса 6 – 12 %, плотность 400 – 600 кг/м^3. Предел прочности при изгибе 30 – 35 МПа, модуль упругости 7 – 10 ГПа. Материал применяется для несущих конструкций зданий, многоразовой опалубки, изготовления окон, дверей, лестниц и отделки интерьера.

Древесные слоистые пластики (ДСП). Этот композиционный материал изготовляют в процессе термической обработки под большим давлением из листов шпона, склеенных синтетическими клеями. Согласно ГОСТ 13913-78 изготавливают ДСП из березового шпона, используя в качестве клея бакелитовый лак. Пластик выпускают 11 марок различного назначения с четырьмя типами укладки шпона: А, Б, В, Г. Например, пластик ДСП-Бэ и ДСП-Вэ используют в электротехнике. Другие марки предназначены для судостроения (материал для дейдвудных подшипников) и машиностроения (в том числе текстильного) в качестве конструкционного, антифрикционного материала. Пластики изготавливают цельными и составными из нескольких листов шпона по длине.

ДСП выпускают в виде листов толщиной от 1,0 до 12 мм включительно и плит толщиной от 15 до 60 мм. Длина пластиков находится в диапазоне 750-5600 мм, а ширина 750-1500 мм. В стандарте указаны требования к качеству шпона. Регламентируются показатели физико-механических свойств ДСП. В частности, для пластиков марок ДСП-Бэ и ДСП-Вэ установлен ряд норм в отношении показателей электрических свойств, а также тепло- и маслостойкости. Пластики обладают высокой плотностью от 1230 до 1330 кг/м^3. ДСП учитывают по массе (в кг).

Столярные плиты. Эти композиционные материалы, применяемые в мебельной промышленности, судостроении, вагоностроении и строительстве, изготавливаются из реечных щитов, оклеенных с обеих сторон двумя слоями лущенного шпона. Согласно ГОСТ 13715-78 столярные плиты выпускают следующих типов: НР – из щитов с несклеенными между

собой рейками; СР – из щитов со склеенными рейками; БР – из блочно-реечных щитов (рейки из склеенных в блок досок). Плиты могут быть облицованы шпоном. Плиты изготовляют 4-х форматов: 2500×1525, 2500×1220, 1830×1220, 1525×1525 мм и толщиной 16, 19, 22, 25 и 30 мм. Для изготовления щитов плит используют древесину хвойных и мягких лиственных пород. Необлицованные столярные плиты учитывают в $м^3$, а облицованные – в $м^2$. В последнее время в мире возвращается интерес к этому традиционному древесному материалу.

§ 62. Композиционные материалы на основе измельченной древесины

Композиционные материалы этой подгруппы изготовляют в основном из низкокачественной древесины и отходов производства.

Ниже будут кратко рассмотрены материалы, на которые имеются государственные стандарты, а также некоторые другие материалы.

Древесностружечные плиты (ДСтП). Этот композиционный материал получается путем горячего прессования древесных частиц, смешанных со связующим. Древесностружечные плиты широко используются в производстве мебели; применяются также в строительстве и в других областях.

Древесные частицы получают, главным образом, путем переработки технологического сырья (низкокачественной древесины), технологической щепы, а также отходов деревообрабатывающих и фанерных производств, частично опилок. В качестве связующего для производства древесностружечных плит применяют чаще всего карбамидоформальдегидные и фенолформальдегидные смолы.

Согласно ГОСТ 10632-89 плиты изготавливают путем плоского прессования толщиной (после шлифования) от 8 до 28 мм с градацией 1 мм. Длина плит находится в диапазоне 1830–5680 мм (18 размеров), а ширина – 1220–2500 мм (9 размеров). Для нешлифованных плит предусматривается припуск по толщине не более 1,5 мм. Плотность плит должна находится в пределах 550-820 $кг/м^3$, а влажность – 5–12 %. Установлены две марки плит П-А и П-Б, у которых нормы требований к другим физико-механическим показателям различны. Так, например, предел прочности при изгибе плит марки П-А толщиной 8–12; 13–19; 20–30 мм соответственно равен: 18, 16, 14 МПа, а у марки П-Б – 16; 14; 12 МПа. Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты толщиной 8-12 мм марки П-А равен 0,35 МПа, а у плиты П-Б – 0,3 МПа; при толщинах 13-19 и 20–30 мм этот показатель соответственно равен 0,30 и 0,25 МПа для обеих марок. Как видим, прочность у более тонких плит выше. Покоробленность у плит марки П-А – 1,2 мм, а у марки П-Б – 1,6 мм, шероховатость поверхности сухой шлифованной плиты R_m для марки П-А – 50 мкм; для

марки П-Б – 63 мкм. Дифференцированы нормы требований и в отношении разбухания плит по толщине, удельного сопротивления выдергиванию шурупов, нормальному отрыву наружного слоя и некоторые другие.

Для плит обеих марок модуль упругости при изгибе равен 1,4-4,0 ГПа; ударная вязкость – 0,4–0,8 Дж/см^2, твердость – 20–40 Н/мм^2.

Различают плиты I и II сорта по наличию и размерам дефектов на их поверхности. Изготовляют плиты с обычной или мелкоструктурной (М) поверхностью, шлифованные (Ш) или нешлифованные, обычной или повышенной (В) водостойкости. По содержанию формальдегида плиты могут быть двух классов эмиссии: Е1, Е2. Наименьшее содержание этого токсичного вещества у плит класса Е1. Все указанные характеристики, а также размеры плит и номер стандарта находят отражение в условном обозначении. Например, "П-А, I, М, В, Ш, Е1, 3500×1750×15, ГОСТ 10632-89". Плиты учитывают в м^2 или м^3.

Для придания древесностружечным плитам биостойкости, водостойкости и огнестойкости в них вводят химические добавки [7].

В мировой практике получили распространение плиты из крупноразмерной ориентированной стружки ОСБ (Oriented Strand Boards). Предшественником этого нового материала были так называемые плиты. Хотя технология получения ОСБ как заменителя фанеры была разработана еще в 70-е годы прошлого столетия, стремительный рост производства в США и Канаде, а затем в Европе приходится на последние годы. Если сначала использовали только древесины осины, затем сосну, то сейчас применяют и другие породы с малой и средней плотностью древесины. В нашей стране также увеличивается потребление этого материала. Плиты изготовляются из стружки толщиной 0,5 – 0,9 мм, шириной 6 – 40 мм и длиной 75 – 115 мм. Плиты формируют из 3 или 5 слоев. Стружка в смежных слоях плиты ориентирована во взаимно перпендикулярных направлениях. После сушки и сортировки ее смешивают с малотоксичными смолами и подают на форммашины. Здесь она равномерно распределяется и с помощью ориентирующих головок занимает необходимое направление, соответствующее слоям будущей плиты. Сформированный ковер подвергается горячему прессованию. Плиты ОСБ имеют большую прочность и жесткость по сравнению с обычными плитами ДСтП, а по сравнению с фанерой – меньшую склонность к расслоению и растрескиванию. Плиты применяются в домостроении, для изготовления опалубки, производстве тары и упаковки и других целей.

Древесноволокнистые плиты (ДВП). Это листовой материал, изготовленный в процессе горячего прессования и сушки сформированной в виде ковра массы из древесных волокон. Древесными волокнами условно названы клетки, их обрывки и группы, получающиеся при размоле древесины (щепы). Различают мокрый и сухой способ производства ДВП в зависимости от того в водной или воздушной среде находится масса при

формировании ковра и прессовании. Наиболее распространен мокрый способ, который близок к производству картона, однако в последнее время получает развитие сухой способ производства ДВП. Если при мокром способе прочность плиты обеспечивается межволоконными связями, и вводимые добавки предназначены для улучшения других свойств, например, водостойкости, то при сухом способе вводят упрочняющее плиту связующее – синтетическую смолу. Таким образом ДВП сухого способа производства с еще большим основанием можно отнести к композиционным древесным материалам.

Древесноволокнистые плиты применяют в строительстве, при изготовлении деревянных домов, в производстве мебели, вагоно-судостроении и других отраслях промышленности в качестве конструкционного, изоляционного, отделочного материала.

По мокрому способу изготовляют согласно ГОСТ 4598-86 плиты: сверхтвердые СТ (плотностью $\rho = 950 - 1100$ кг/м^3), твердые Т ($\rho = 800 - 1100$ кг/м^3), полутвердые НТ (ρ – не менее 600 кг/м^3), мягкие: М1 ($\rho = 200 - 400$ кг/м^3), М2 ($\rho = 200 - 350$ кг/м^3), М3 ($\rho = 100 - 200$ кг/м^3). Если твердые плиты имеют лицевой слой из тонкодисперсной древесной массы в обозначение марки добавляется буква С, если лицевой слой подкрашен – буква П; на повышенную водостойкость указывает буква В. Твердые плиты марок Т, Т-С, Т-П, Т-СП в зависимости от уровня физико-механических показателей подразделяют на группы А и Б, а по числу и размерам дефектов на поверхности – на I и II сорт. Сверхтвердые, твердые и полутвердые плиты выпускают толщиной от 2,5 до 6,0 мм (5 размеров), длиной от 1220 до 3660 (10 основных размеров), шириной от 610 до 2140 (6 размеров), а мягкие – толщиной 8; 12; 16 мм; длиной от 1220 до 3000 мм и шириной 1220 мм. Пример условного обозначения плиты "Т-СП, гр.Б, II с, 3050×2140×3,2, ГОСТ 4598-86".

Предел прочности при изгибе сверхтвердых плит равен (нижняя граница) – 47 МПа, твердых водостойких – 40 МПа; твердых: группы А – 38 МПа и группы Б – 33 МПа; полутвердых – 15 МПа.

Мягкие плиты, предназначенные для теплоизоляции, имеют малую прочность, для марок М1; М2; М3 соответственно равную 1,8; 1,1 и 0,4 МПа и низкий коэффициент теплопроводности – 0,05; 0,07; 0,09 Вт/(м · °С).

Для разных марок ДВП установлены дифференцированные нормы разбухания; влажности, которая может быть в пределах 3–12 %, водопоглощения и прочности при растяжении перпендикулярно волокнам (для твердых и сверхтвердых плит).

ДВП сухого способа производства изготовляют согласно ТУ 13-444-83. Выпускают плиты следующих марок: полутвердые – ПТс-220; твердые – Тс-300, Тс-350, Тс-400, Тс-450; сверхтвердые – СТс-500.

Плиты выпускают шлифованными (с одной или двух сторон) и нешлифованные. В зависимости от наличия и размеров дефектов на поверхности нешлифованные плиты подразделяют на группы А и Б. Длина плит от 1200 до 5500 мм; ширина от 1000 до 1830 мм; толщина от 5 до 12 мм. Влажность плит составляет $5 \pm 3\%$. Параметр шероховатости Rm_{max} у шлифованных плит не более 100 мкм. Установлены дифференцированные по маркам нормы в отношении показателей плотности, прочности, водопоглощения и разбухания, а также другие требования.

Древесноволокнистые плиты обоих способов производства учитывают в $м^2$ с указанием толщины плиты. Твердые плиты износостойки, легко склеиваются и отделываются [49]. Согласно ГОСТ 8904-81 выпускают плиты с лакокрасочным покрытием на лицевой поверхности. Предложены технологии изготовления специальных видов плит: биостойких, огнестойких, битумированных, профилированных и т.д. В МГУЛ разработаны технологии производства малотоксичных плит. Выпускаются плиты, облицованные шпоном, пластиком, пленками.

В последнее время, особенно за рубежом, быстро развивается производство плит сухого способа формования с равномерной по толщине плотностью 800 – 850 $кг/м^3$. Эти плиты известны под обозначением МДФ (Medium Density Fiberboards). Они применяются в производстве мебели, декоративных стеновых панелей, облицованного паркета, тары.

Массы древесные прессовочные (МДП). Это смеси, точнее, готовые композиции, полученные в результате совместной обработки частиц древесины и синтетических смол. МДП предназначаются для изготовления методом горячего прессования деталей машин, строительных деталей и товаров народного потребления. Таким образом изготавливают втулки, блоки, шкивы, подоконные доски и т. п.

Согласно ГОСТ 11368-89 массы древесные прессовочные подразделяются на три типа: МДПК – из части шпона (крошки), МДПС – из стружки, МДПО – из опилок. В стандарте приведены основные компоненты смеси каждой марки, технические требования и методы испытаний. Для контрольной проверки качества массы, из нее по указанным в стандарте режимам изготовляют прессованием образцы. По этим образцам определяют ряд физико-механических свойств: плотность, прочность, твердость, влагопоглощение, масло-, бензино- и кислотопоглощение и др. Масса транспортируется в ящиках или мешках, учитывается в кг.

Композиции древесно-клеевые. Эти смеси состоят из измельченной древесины и связующего; предназначены для изготовления формованной тары. Для приготовления смеси используют стружку длиной от 10 до 20 мм, шириной от 1,0 до 3,5 мм и толщиной от 0,1 до 0,4 мм из древесины хвойных и мягких лиственных пород, а также связующее на основе мочевиноформальдегидных смол. В качестве гидрофобной добавки применяют парафин. По формованным образцам определяют плотность, твердость,

ударную вязкость и разбухание. Транспортируют смесь в мешках, учитывают в кг.

Арболит. Это строительный материал, относящийся к категории легких бетонов. В состав арболитовой смеси входит органический заполнитель, цементное вяжущее, химические добавки и вода. В качестве органического заполнителя используют дробленые отходы лесозаготовительной, лесопильной и деревообрабатывающей промышленности. Ветви, сучья, вершинки, горбыли, рейки, срезки из сосны, ели, пихты, березы, бука, осины, тополя сначала перерабатывают в щепу, которую, в свою очередь, на молотковых мельницах превращают в дробленку. Длина частиц не должна быть более 40 мм, толщина 5 мм, ширина 10 мм. Сырье не должно содержать примеси коры, хвои, листьев более 5 %. Вместо древесного заполнителя можно использовать измельченные стебли хлопчатника, рисовую соломку, костру льна и конопли.

В качестве вяжущего используют портландцемент. Для нейтрализации действия водорастворимых веществ, замедляющих процессы схватывания и твердения цемента, а также снижающих прочность материала, в арболитовую массу вводят минерализаторы. Минерализаторами служат: хлористый кальций, жидкое стекло и сернистый глинозем совместно с известью. Вводятся и другие химические добавки. Из арболита получают стеновые панели, несущие блоки и другие элементы строительных конструкций. Арболитовые изделия разделяются на теплоизоляционные и конструкционно-теплоизоляционные, они могут изготовляться с металлической арматурой. Согласно ГОСТ 19222-84 теплоизоляционный арболит имеет плотность 400–500 кг/м^3, а конструкционный – 500–850 кг/м^3. По прочности теплоизоляционный арболит делится на классы: В 0,35; В 0,75; В 1,0 (предел прочности на сжатие 0,5–1,5 МПа), а конструкционный – на классы: В 1,5; В 2,0; В 2,5; В 3,5 (предел прочности 2,5–5,0 МПа). Коэффициент теплопроводности у теплоизоляционного арболита составляет 0,08–0,095 Вт/(м · °С), а у конструкционного – 0,105–0,17 Вт/(м · °С).

Арболит био- и огнестоек, обладает хорошими звуко- и теплоизоляционными свойствами, удерживает гвозди, морозостоек. Этот материал используется для строительства малоэтажных зданий в сельской местности [84].

Фибролит. Это также строительный материал, изготовленный из смеси древесной стружки, портландцемента и химических добавок. Для фибролита из древесины преимущественно хвойных пород изготавливается стружка толщиной от 0,25 до 0,5 мм, шириной 2-6 мм. Стружку смешивают с вяжущим и добавками (хлористый кальций, жидкое стекло и др.), затем смесь формируют и прессуют. Согласно ранее действовавшего ГОСТ 8928-81 выпускали фибролитовые плиты трех марок: Ф-300 – теплоизоляционные; Ф-400 – теплоизоляционно-конструкционные и звукоизоляционные; Ф-500 – конструкционно-теплоизоляционные и звукоизо-

ляционные. Плиты изготовляли длиной 2400 и 3000 мм, шириной 600 мм и 1200 мм и толщиной от 30 до 150 мм. Цифры в марке указывают плотность плит (в кг/м^3). Предел прочности при изгибе – от 0,35 до 1,3 МПа. В стандарте указаны нормы для модуля упругости, теплопроводности, водопоглощения, звукопоглощения. Фибролитовые плиты легко обрабатываются, био- и огнестойки, удерживают гвозди и имеют ряд других достоинств. Применяются для строительства каркасных домов.

Плиты цементностружечные (ЦСП). Это сравнительно новый строительный материал, который изготавливают прессованием древесных частиц (таких же как для ДСтП) с портландцементом и химическими добавками. Плиты предназначаются для ограждающих конструкций деревянных домов, элементов полов и других строительных деталей. Согласно ГОСТ 26816-86 плиты выпускаются двух марок ЦСП-1 и ЦСП-2 в зависимости от уровня физико-механических показателей. Они изготавливаются толщиной от 8 до 40 мм, длиной 3200 и 3600 мм, шириной 1200 и 1250 мм. Плотность плит от 1100 до 1400 кг/м^3. Предел прочности при изгибе для ЦСП-1 составляет 9–12 МПа, а для плит ЦСП-2 – 7–9 МПа. С увеличением толщины плит прочность снижается. Регламентированы показатели и других физико-механических свойств. Учитывают плиты в м^2. Цементностружечные плиты водостойкие, морозостойкие, биостойкие, огнестойкие, нетоксичные, хорошо обрабатываются.

Ксилолит. Это строительный материал, состоящий из смеси опилок или древесной муки с магнезиальным вяжущим. Используется в виде плиток для покрытия полов, отделки стен и других целей. Ксилолит – износостойкий, негорючий, водоупорный материал высокой прочности.

Другие виды композиционных материалов из измельченной древесины и технология их изготовления описаны в учебнике [48].

§ 63. Модифицированная древесина

Модифицированной называют цельную древесину с направленно измененными, физическими или химическими методами, свойствами. Согласно ГОСТ 23944-80 и ГОСТ 24329-80 различают пять основных способов модифицирования и соответствующие виды продукции.

Древесина термомеханической модификации. Иначе этот вид продукции называют – прессованная древесина (ДП). При прессовании предварительно пропаренной или нагретой древесины, обычно в плоскости поперек волокон, происходит изменение макроструктуры древесины, увеличение плотности и улучшение показателей, связанных с ней свойств. Работы по термомеханической модификации, проведенные Воронежским лесотехническим институтом и другими организациями, позволили предложить различные технологические процессы и приемы получения уплотненной древесины.

Прессованную древесину целесообразно получать, используя мягкие лиственные породы, а в ряде случаев хвойные и даже твердые лиственные породы. Требования к сырью для изготовления ДП регламентированы ГОСТ 23551-79. Марки, размеры и показатели физико-механических свойств брусковых и досковых заготовок, а также цилиндров, втулок и т. д. из прессованной древесины установлены ГОСТ 24588-81 и ГОСТ 9629-81.

Плотность ДП находится в пределах 800-1350 кг/м^3. Прессованная древесина имеет в несколько раз большую прочность, твердость и ударную вязкость, чем натуральная древесина. Она обладает достаточно хорошими антифрикционными свойствами и может быть использована при изготовлении подшипников вместо бронзы, баббита и других металлов. Прессованная древесина хорошо гасит вибрации, имеет способность поглощать абразивные частицы, что предохраняет от повреждения валы. В воде прессованная древесина разбухает, и задержанные деформации возвращаются. Однако в некоторых случаях разбухание и распрессовка ДП могут оказаться полезными, например, в уплотнительных устройствах гидравлических машин. Прессованную древесину можно применять для изготовления втулок опорных катков, шестерен, паркета и других целей. Прессованную древесину можно дополнительно модифицировать, наполняя ее маслами, металлами, полимерами, главным образом, с целью улучшения ее свойств как антифрикционного материала.

Древесина химико-механической модификации. При этом способе модификации древесину предварительно (или одновременно) обрабатывают аммиаком, мочевиной или другими веществами, а затем уплотняют. Наиболее полно разработана Институтом химии древесины АН Латвии технология получения л и г н а м о н а – материала из древесины, подвергнутой обработке аммиаком, прессованию и сушке.

Предварительная химическая обработка вызывает изменение свойств клеточных стенок, древесина пластифицируется, ей легко придать новую форму. Пластифицированная аммиаком древесина поглощает воду, разбухает и распрессовывается. Воздействием повышенной температуры можно уменьшить эти недостатки. Показатели физико-механических свойств заготовок из лигнамона приведены в ГОСТ 9629-81. Из цельной пластифицированной аммиаком, прессованной древесины изготовляют детали мебели, паркет, музыкальные инструменты. Модифицированную мочевиной прессованную древесину – д е с т а м , используют для покрытия полов.

Древесина термохимической модификации. Это материал, получаемый пропиткой древесины мономерами, олигомерами или смолами и последующей термообработкой для полимеризации или поликонденсации пропитывающего состава.

В некоторых случаях наблюдается химическая прививка модификатора к полимерным компонентам древесины. Древесину пропитывают чаще всего фенолформальдегидными смолами, например, в виде водного раствора фенолоспиртов, смолами фуранового типа, полиэфирными смолами и др. Работы по термохимической модификации были проведены в Белорусском технологическом институте, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и других организациях.

Модификация древесины синтетическими смолами снижает ее гигроскопичность, водопоглощение и водопроницаемость, уменьшает разбухание, повышает прочность, жесткость и твердость, но часто снижается ударная вязкость. Разработаны рецептуры смол, которые позволяют получить необходимое улучшение свойств без увеличения хрупкости материала; созданы трудногорючие и биостойкие материалы. Модифицированная этим способом древесина используется в строительных конструкциях, мебельном, лыжном производствах.

Древесина радиационно-химической модификации. В данном случае полимеризация введенных в древесину веществ происходит под воздействием ионизирующих излучений. Древесину пропитывают метилметакрилатом, стиролом, винилацетатом, акрилонитрилом и другими мономерами, а также их смесями. Работы, проведенные в филиале физико-химического института им. В.Л. Карпова, показали, что такой способ модификации также улучшает формоустойчивость, механические и эксплуатационные свойства древесины. Модифицированная древесина используется для паркета, деталей машиностроения и др. целей.

Древесина химической модификации. Так называется древесина, подвергнутая обработке аммиаком, уксусным ангидридом или другими веществами, изменяющими тонкую структуру и химический состав древесины. Обработку аммиаком предпринимают, как уже отмечалось, для повышения податливости древесины, а также для самоуплотнения при сушке и изменения цвета.

Обработку уксусным ангидридом проводят с целью ацетилирования древесины, т. е. введения ацетильных групп в состав ее химических компонентов. У ацетилированной древесины лишь несколько изменяются механические свойства, но существенно снижается водо- и влагопоглощение, разбухание и усушка. Ацетилированную древесину целесообразно использовать для изготовления изделий повышенной формоустойчивости. Работы в области ацетилирования древесины проведены в Латвийской сельскохозяйственной академии. Более подробные сведения о свойствах древесины, подвергнутой модифицированию всеми рассмотренными способами, изложены в ряде публикаций [26, 59, 67].

§ 64. Методы испытаний композиционных древесных материалов и модифицированной древесины

Слоистая клееная древесина. Правила отбора образцов и общие требования при испытаниях этого вида материалов установлены ГОСТ 9620-94. Испытания с целью определения плотности, водопоглощения, влагопоглощения и объемного разбухания проводят методами, изложенными в ГОСТ 9621-72. Такие механические характеристики, как пределы прочности и модуль упругости при растяжении и сжатии, пределы прочности при скалывании и статическом изгибе, ударную вязкость определяют по ГОСТ 9622-87 – ГОСТ 9626-90. При испытаниях на твердость, теплостойкость и маслостойкость используют ГОСТ 9627.1-75 – ГОСТ 9627.3-75. Способность к изгибу, формоустойчивость и изменение линейных размеров в зависимости от влажности воздуха определяют по ГОСТ 18066-72 – ГОСТ 18068-72.

Фанера общего назначения. Влажность определяют по образцам площадью в плане не менее 25 см^2. Процедура испытаний такая же, как для малых образцов древесины.

Прочность при скалывании по клеевому слою определяют путем испытаний по схеме на рис. 114. Образец шириной $b = 40$ мм и длиной $l = 95$ мм ($l_2 = 20$ мм) пропиливают на глубину 2-х или более слоев. Длина скалываемой части l_1 составляет 12,5 мм. Образец I размещают в приспособлении, прижимая к упорной планке 2. Усилия передают через захваты 3, доводят образец до разрушения за 0,5-1,0 мин и определив максимальную нагрузку P_{max}, Н, определяют предел прочности, МПа, по формуле

$$\tau_{ck} = \frac{P_{max}}{bl_1}. \qquad (124)$$

Испытания образцов фанеры ФСФ проводят после кипячения в воде в течение 1 часа, фанеры ФК – после вымачивания в воде в течение 24 часов. Шероховатость фанеры определяют по ГОСТ 15612-85.

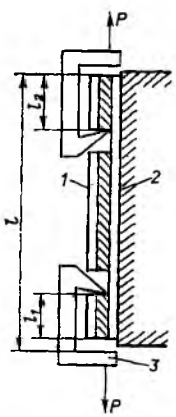


Рис. 114. Схема испытания фанеры на скалывание: *1* – образец; *2* – упорная планка; *3* – захваты

Массивная клееная древесина. Для этого вида композиционных материалов проводятся испытания только самого клеевого соединения. Испытывают на прочность при скалывании вдоль волокон, раскалывании клиньями, растяжении клеевого торцевого соединения впритык, статическом изгибе и растяжении зубчатых клеевых соединений (ГОСТ 15613.1-84 – ГОСТ 15613.5-79). Кроме того, клеевые

соединения испытывают на теплостойкость и морозостойкость (ГОСТ 18446-73) и атмосферостойкость (ГОСТ 19100-73), определяя прочность при скалывании вдоль волокон после соответствующих воздействий.

Комбинированная клееная древесина. У столярных плит, представляющих этот вид материалов, влажность, а также предел прочности при скалывании по клеевому слою и статическом изгибе определяют теми же методами, что и у слоистой клееной древесины. Шероховатость определяют по ГОСТ 15612-85.

Древесностружечные плиты. На методы испытаний ДСтП было разработано много нормативных документов на разных уровнях стандартизации. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний, а также сами методы определения физических свойств (влажности, плотности, разбухания по толщине, водопоглощения); предела прочности и модуля упругости при изгибе; предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты; удельного сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов регламентированы ГОСТ 10633-78 – ГОСТ 10637-78. Удельное сопротивление нормальному отрыву наружного слоя определяют по ГОСТ 23234-78, ударную вязкость – по ГОСТ 11842-76; твердость – по ГОСТ 11843-76, а покоробленность – по ГОСТ 24053-80. Кроме того, имеется ряд методов, на которые разработаны ОСТ, ТУ. Рассмотрим кратко лишь те методы, которые позволяют определить показатели свойств ДСтП, указанные в § 62.

Влажность определяют сушильно-весовым методом по образцам площадью в плане не менее 25 см^2. Плотность определяют при нормализованной влажности как отношение массы образца размером $100\times100\times h$ мм (h – толщина плиты) к объему, найденному измерением его длины, ширины, толщины. Водопоглощение и разбухание, %, определяют на таких же образцах после 24 часов вымачивания при t=20°C как приращение массы или размера по толщине, отнесенные к массе или толщине образца до увлажнения.

Прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты определяют на квадратных в плане образцах со стороной 50 мм. К образцу (рис. 115) приклеивают колодки 2 профильные (с пазом) из твердой древесины, металла или прямые из ДСтП под захваты 3. Доводят образец до разрушения и установив P_{max} по формуле, аналогичной (87), вычисляют предел прочности (в МПа).

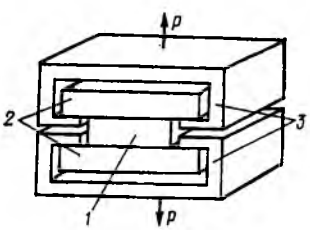


Рис. 115. Схема испытания древесностружечных плит на растяжение перпендикулярно пласти: *1* – образец; *2* – колодки; *3* – захваты

Прочность при изгибе определяют на образцах шириной b=75 мм и длиной, равной 25-кратной номинальной толщине (h) плиты плюс 50 мм. Образец нагружают посередине пролета l=25h. Продолжительность нагружения 1,5 мин. Установив P_{max}, по формуле (90) вычисляют предел прочности (в МПа). Твердость определяют таким же способом, как статическую твердость древесины. Однако в данном случае диаметр индентора – металлического шарика равен 10 мм. При испытаниях устанавливают величину усилия, необходимого для вдавливания шарика на глубину 2 или 1 мм. Показателем твердости, как и для древесины, служит отношение нагрузки к площади проекции отпечатка. Шероховатость измеряют согласно ГОСТ 15612–85, используя чаще всего профилографы.

Древесноволокнистые плиты. Все немногочисленные методы испытаний древесноволокнистых плит регламентированы специализированным ГОСТ 19592–80. Только определение теплопроводности мягких плит проводят согласно общему для строительных материалов ГОСТ 7075–87. Влажность определяют сушильно-весовым способом на образцах размерами в плане 100×100 мм.

Плотность при нормализованной влажности определяют как у ДСтП. Водопоглощение определяют на таких же образцах после вымачивания в воде в течение 2 или 24 часов (в зависимости от марки плиты). Разбухание по толщине определяют одновременно с испытанием на водопоглощение. Прочность при изгибе определяют также как у ДСтП.

Арболит. Две основные физико-механические характеристики арболита: плотность и предел прочности на сжатие устанавливают путем испытания образцов в виде куба размером 150×150×150 мм.

Влажность определяют сушильно-весовым методом по навеске начальной массой порядка 100 г. Для установления коэффициента теплопроводности как и у ДВП проводят испытания согласно ГОСТ 7076–87.

Модифицированная древесина. Стандартизованы методы испытаний прессованной древесины принципиально не отличаются от методов испытания натуральной древесины. Основное различие – в размерах образцов. За базисное принято сечение образца размером 15×15 мм.

Для прессованной древесины были разработаны ГОСТ 21523.3.1–93 – 21523.11–79, охватывающие методы определения температуропроводности, теплопроводности и теплоемкости, влажности, водо- и влагопоглощения, модулей упругости при изгибе, сжатии, растяжении; истирания, плотности. Определение ударной вязкости проводят по ГОСТ 20571–75, а давление набухания и линейное разбухание по ГОСТ 21312–75 и ГОСТ 21313–75.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Азаров. В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – С.-Петербург: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
2. *Антонова Г.Ф. Рост клеток хвойных. – Новосибирск: Наука, 1999. – 232 с.
3. Анучин Н.П. Лесная таксация. 6-е издание. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 552с.
4. Атлас древесины и волокон для бумаги. Е.С. Чавчавадзе, З.Е. Брянцева и др. под ред. Е.С. Чавчавадзе. – М.: Ключ, 1992. – 336 с.
5. *Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 224 с.
6. *Баженов В.А. Пьезоэлектрические свойства древесины. – М.: АН СССР, 1959. – 239 с.
7. Баженов В.А., Карасев Е.И., Мерсов Е.Д. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 360 с.
8. Бокщанин Ю.Р. Обработка и применение древесины лиственницы. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 216 с.
9. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 246 с.
10. Буглай Б.М. Технология отделки древесины. 2-е издание. М.: Лесная промышленность, 1973. – 304 с.
11. Букштынов А.Д., Грошев Б.И. Б., Крылов Г.А. Леса (Природа мира).М.: Мысль, 1981. – 316 с.
12. Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. 2-е издание. – М.: МГУЛ, 2003. – 528 с.
13. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. - Новосибирск: Наука, 2000 – 232 с.
14. Вакин А.Т. Хранение круглого леса. 2-е издание – М.: Лесная промышленность, 1969. – 416 с.
15. *Вакин А.Т., Полубояринов О.И., Соловьев В.А. Пороки древесины. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 112 с.
16. Ванин С.И. Древесиноведение. 3-е издание. – М-Л.: Гослесбумиздат, 1949.– 581с.
17. Варфоломеев Ю.А. Обеспечение долговечности изделий из древесины. – М.: Ассоль, 1992. – 288 с.
18. Васечкин Ю.В., Валягин А.Д., Сергеев В.П., Оберман Р.Р. Справочное пособие по производству фанеры.. – М.: МГУЛ, 2002 – 297 с.
19. *Вихров В.Е. Диагностические признаки древесины. – М.: АН СССР, 1959. – 132 с.

20. **Волынский В.Н.** Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины. – Архангельск: АГТУ, 2000 – 196 с.
21. *__Воронцов А.И.__ Лесная энтомология. 5-е издание. – М.: Экология, 1995. – 368с.
22. **Гелес И.С.** Древесная биомасса и основы экологически приемлемых технологий ее химико-механической переработки. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2001 – 382 с.
23. **Гемицеллюлозы** / Дудкин М.С., Громов В.С., Ведерников Н.А. и др. Рига: Зинатне, 1991. – 488 с.
24. **Горшин С.Н.** Атмосферная сушка пиломатериалов. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 296 с.
25. **Долацис Я.А., Ильясов С.Г., Красников В.В.** Воздействие ИК-излучений на древесину. – Рига: Зинатне, 1973. – 276 с.
26. **Долацис Я.А.** Радиационно-химическое модифицирование древесины. Рига: Зинатне, 1985. – 218 с.
27. *__Древесина.__ Показатели физико-механических свойств. РТМ. – М.: Комитет стандартов при СМ СССР, 1962. – 48 с.
28. **Древесные** породы мира. – М.: Лесная промышленность, 1982. т.1 – 328 с., т.2 –352 с., т.3 – 264 с.
29. **Европейские** стандарты на круглые лесоматериалы и пиломатериалы. Справочник. – М.: ООО «Лесэксперт», 2005. – 141 с.
30. **Ермолин В.П.** Основы повышения проницаемости жидкостями древесины хвойных пород. – Красноярск: Сиб. ГТУ, 1999. – 100 с.
31. **Кармадонов А.Н.** Дефектоскопия древесины. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 120 с.
32. *__Клеточная__ стенка древесины и ее изменения при химическом воздействии. Бейнарт И.И., Ведерников Н.А., Громов В.С. и др. – Рига: Зинатне, 1972. – 510 с.
33. **Ковальчук Л.М.** Производство деревянных клееных конструкций. 3-е издание. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005 – 336 с.
34. **Колесникова А.А.** исследование свойств древесины по кернам. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002 – 178 с.
35. **Колосовская Е.А,, Лоскутов С.Р., Чудинов Б.С.** Физические основы взаимодействия древесины с водой. – Новосибирск: Наука, 1989. – 216 с.
36. **Кононов Г.Н.** Химия древесины и ее основных компонентов. – М.: МГУЛ, 1999. –247 с.
37. **Коровин В.В., Оганесянц А.Л.** Дуб в лесоводстве и виноделии. – М.: ДеЛипринт, 2007. – 479 с.
38. **Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносов Г.А.** Структурные аномалии стебля древесных растений. – М.: МГУЛ, 2002. – 258 с.
39. **Крылов В.Н.** Справочник бумажника-технолога. Сырье. Общие сведения. – СПб: СПбГЛТА, 1993. – 71с.

40. **Лакатош Б.К.** Дефектоскопия древесины. – М.: Лесная промышленность, 1966. –182 с
41. **Лапиров-Скобло С.Я.** Лесное товароведение. 3-е издание. – М.: Высшая школа, 1968. – 469 с.
42. **Леонтьев Н.Л.** Техника испытаний древесины. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 160 с.
43. **Леса России.** Российская лесная газета. 2006. – 8 – 10, – 47 с.
44. **Лесная энциклопедия.** В 2-х т. – М.: Советская энциклопедия - т.1, 1985. – 563 с., т.2, 1986 – 631 с.
45. **Лесной кодекс** Российской федерации, от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ. Российская лесная газета, спец. выпуск, 48 с.
46. **Лоскутов С.Р.** Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. – 172 с.
47. **Мелехов И.С.** Лесоведение. 2-е издание. – М.: МГУЛ, 2002. – 398 с.
48. **Мельникова Л.В.** Технология композиционных материалов из древесины. – М.: МГУЛ, 1999. – 226 с.
49. **Мерсов Е.Д.** Производство древесноволокнистых плит. – М.: Высшая школа, 1989.–232 с.
50. **Москалева В.Е.** Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях. – М.: АН СССР, 1957. – 165 с.
51. **Непенин Н.Н., Непенин Ю.Н.** Технология целлюлозы. т.3. – М.: Экология, 1994. –592 с.
52. **Никитин Н.И.** Химия древесины и целлюлозы. – М-Л.: АН СССР, 1962. – 711с.
53. **Новый справочник** химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. 4. II. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. – 1142 с.
54. **Осипенко Ю.Ф., Рябчук В.П.** Лесное товароведение. – Львов: Вища школа, 1979. –279 с.
55. **Перелыгин Л.М.** Строение древесины. – М.: АН СССР, 1954. – 200 с.
56. **Перелыгин Л.М.** Древесиноведение. 2-е издание перераб. и доп. Б.Н.Уголевым.– М.: Лесная промышленность, 1969. – 316 с.
57. **Полубояринов О.И.** Плотность древесины. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 160 с.
58. **Поташев О.Е., Лапшин Ю.Г.** Механика древесных плит. М.: Лесная промышленность, 1982. – 112с.
59. **Роценс К.А., Берзон А.В., Гулбис Я.К.** Особенности свойств модифицированной древесины – Рига: Зинатне, 1983. – 207 с.
60. **Рыкунин С.Н., Тюкина Ю.П., Шалаев В.С.** Технология лесопильно-деревообрабатывающего производства. – М.: Лесная промышленность, 1965 – 280 с.

61. *Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. 4-е издание, перераб. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 360 с.
62. Соболев Ю.С. Древесина как конструкционный материал. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 248 с.
63. Справочник по круглым лесоматериалам. – М.: ООО «Лесэксперт», 2005. –137 с.
64. Справочник по пиломатериалам. – М.: ООО «Лесэксперт», 2004. – 107 с.
65. Справочное пособие по деревообработке под ред. В.В. Кислого. – Екатеринбург: Бриз, 1995. – 558 с.
66. Справочное руководство по древесине. Пер. с англ. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 544 с.
67. *Строение, свойства и качество древесины. Труды I, II, III и IV международных симпозиумов координационного совета по древесиноведению (ред. Б.Н.Уголев), I симп. Москва-Мытищи: МЛТИ, 1990. – 373 с.; II симп. Москва: МГУЛ, 1997. – 378 с.; III симп. Петрозаводск: КНЦ РАН 2000. – 311 с.; IV симп. С.-Петербург: СПбГЛТА, 2004. – 569 с. (2 тома).
68. Технология лесохимических производств. Выродов В.А., Кислицын А.Н. и др. – М.: Лесная промышленность, 1987. –352 с.
69. Тришин С.П. Технология древесных плит. – М.: МГУЛ, 2001. – 188 с.
70. *Уголев Б.Н. Испытания древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 252 с.
71. *Уголев Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 174 с.
72. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. - М.: Лесная промышленность- 1980. - 208 с
73. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 4-е издание. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 340 с.
74. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. 2-е издание – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 272 с.
75. *Уголев Б.Н., Станко Я.Н. Древесиноведение коммерческих пород. 2-е издание. М.: МГУЛ, 2006. –103 с.
76. Федоров Н.И. Лесная фитопатология. – Минск: БГТУ, 2004. – 462 с.
77. Федюков В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, сертификация.– Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 204 с.
78. Харук Е.В. Проницаемость древесины газами и жидкостями. – Новосибирск: Наука, 1976. – 190 с.
79. Колькин Ю.И. Технология гидролизных производств. – М.: Лесная промышленность, 1989.– 496 с.
80. *Чавчавадзе Е.С. Древесина хвойных.– Л.: Наука, 1979. –190 с.

81. *Чудинов Б.С. Теория тепловой обработки древесины. – М.: Наука, 1968. – 256 с.
82. *Чудинов Б.С. Вода в древесине. – Новосибирск: Наука, 1984. – 270 с.
83. *Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
84. **Щербаков А.С., Сысоев Б.В., Голованова Л.В.** Строительные конструкционные материалы в лесной промышленности, 1989. – 184 с.
85. **Энциклопедия** лесного хозяйства. – М.: ВНИИЛМ, 2006. т. 1 – 424 с., т. 2 – 416 с.
86. **Эсау К.** Анатомия растений. Пер. с англ. под ред. Кудряшова А.В. – М.: Мир, 1969. – 564 с.
87. **Юдкевич Ю.Д., Васильев С.Н., Ягодин В.И.** Получение химических продуктов из древесных отходов. – Спб.: СПбЛТА, 2002. – 84 с.
88. **Ягодин В.И., Выродов В.А.** Технология древесной зелени. – С.-Петербург: ЛТА, 1996. – 92
89. *Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. – М-Л.: АН СССР, 1954. – 335 с.
90. **Блъскова Г.** Дървесинознание. – София: ЛТУ, 2003. – 287 с.
91. **Bosshard H.H.** Holzkunde, Basel und Stuttgart Birkhauser, 1974, Band 1 – 224, Band 2 – 312, Band 3 – 286 s.
92. **Butterfield B.G., Meylan B.A., Peszlen I.M.** Three dimensional structure of wood. –Budapest: FTA, 1997. – 148 с.
93. **Bowyer J.L., Shmulsky R., Haygreen J.G.** Forest Products and Цood Science. 4th ed. Jowa State Press, 2003. – 554 p.
94. **Effects of fiber wall chemistry and structure on the utilization of wood.** Proc. of IAWS meeting. Cesis, Latvia, 2003. - 62 p.
95. **Kollmann F.F. and Coté W.A.** Principles of wood science and technology. vol l, –New York: Springer-Verlag, 1968. –582 p.
96. **Larix-98** IUFRO International symposium. Abstracts. – Krasnoyarsk: V.N.Sukachev Institute of Forest. SB RAS, 1998 – 130 p.
97. **Molnar S., Bariska M.** Mogyarorszagipari fai (Wood species of Hungary). - Budapest Szaktudas kiado haz, 2006. – 206 p.
98. **Niemz P.** Physic des Holzes und der Holzwerkstoffe. – Dresden: DRW-Verlag, 1993.-243s.
99. **Panshin A.J. de Zeeuw C.** Textbook of Wood Technology. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1970. vol. 1, –705 p.
100. **Pozgaj A., Chovanec D., Kurjatko S., Babiak M.** Structura a vlastnosti dreva. – Bratislava: Priroda, 1997. – 488 s.
101. **Wood** Handbook: wood as an engineering material. Forest products laboratory. Washington: USDA, 1987. – 466 p.
102. **Skaar Ch.** Water in wood. – Syracuse: Syracuse University Press. 1972. – 218 p.

103. **Soskic B.M., Popovic Z.D.** Svojstva dreveta. – Beograd: Univerzitet u Beogradu, 2002. – 303 s.
104. **Wagenfuhr R. und Scheiber C.** Holzatlas, 3. Auflage – Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1989. – 720 s.
105. **Wood structure and properties.** Proc. of the IUFRO Symposium (Ed. S. Kurjatko, J. Kudela): 3rd symp., Zvolen, ZTU, 1998 – 204p. 4th symp., ZTU, Banska Bystrica, 2002 – 222 p., 5th symp., Zvolen, Slovakia, 2006 – 518p.

---

*Звездочкой отмечена литература, рекомендуемая для студентов

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Анизотропия 6, 147
Антипирены 263
Антисептики 263
Арболит 334

Балансы 289
Блеск 72

Влагопоглощение 99
Влажность древесины 76
Вода свободная 80
– связанная 80
Водопоглощение 105
Внутренние напряжения 93
Водослой 246
Волокна либриформа 41

Гемицеллюлозы 52
Гигроусталость 191
Гидролиз 63
Годичные слои 21, 90
Грибные ядровые пятна 249

Деформации древесины упругие 183
– гигро (термо) механические 183, 189
– замороженные 185
Диэлектрические свойства 131
Древесина 17
Древесные слоистые пластики 325
Древесный уголь 65
Древесноволокнистые плиты 331
Древесностружечные плиты 330
Дубильные вещества 57, 69
Дупло 251

Живица 57
Жижка 65

Заболонная гниль 254
Заболонные грибные окраски 252
Заболонь 19
– внутренняя 240
Заготовки 311
Закомелистость 231
Засмолок 245

Износостойкость 194
Инородные включения 259

Камбий 13, 30
Канифоль 59, 68
Кармашек 245
Клеточная стенка 31
Кольцесосудистые породы 25, 41, 268
Кора 17, 47
Корка 17, 51
Корни 18, 46
Коробление 97
Крень 231
Кривизна 232
Круглые лесоматериалы 280
Кряжи 295

Лигнин 31, 56
Луб 18, 47
Механические повреждения 259
Микрофибриллы 31
Модифицированная древесина 281, 325

Наклон волокон 233
Наросты 231
Наружная трухлявая гниль 254

Обапол 310
Обугленность 259
Овальность 231
Осмол пневый, стволовой 68

Паренхимные клетки 29, 39
Пасынок 242
Пиловочник 292
Пиломатериалы 305
Пиролиз 65
Плесень 251
Плотность древесины 109
– базисная 112
– влажной 109
– парциальная 110
Побурение 253
Поздняя древесина 22

Покоробленность 260
Поры 34
Предел гигроскопичности 81
– насыщения клеточных стенок 80
Проницаемость 117
Прорость 243
Прочность древесины 159
Пьезоэлектрические свойства 133

Равновесная влажность 82
Разбухание 101
Разрезы ствола 16
Рак 244
Ранняя древесина 22
Рассеяннососудистые породы 25, 41, 271
Резонансная способность 138
Рудничная стойка 298

Сбежистость 230
Свилеватость 235
Сердцевина 16, 47, 241
Сердцевинные лучи 23, 40
Скипидар 58
Смоляные ходы 26, 40
Сосуды 24, 41
Спелая древесина 20
Ствол 13
Сухобокость 243
Сучки 221

Твердость статическая 196
– ударная 198
Текстура 27, 73
Теплота сгорания 66
Трахеиды 38, 44
Трещины 227
Тяговая древесина 238

Ударная вязкость 194
Усушка 88

Фанера 325
Фанерные плиты 328
Фибролит 334

Характеристика пород:
– хвойных 265
– кольцесосудистых 268
– рассеянносудистых 271
– иноземных 275
Хлысты 288

Цвет 70
Целлюлоза 31, 54 ,61
Цементностружечные плиты 325

Червоточина 256
Чураки 289

Шпалы 312
Шпон лущеный 321
– строганый 320

Щепа технологическая 323

Экстрактивные вещества 57
Электропроводность 127

Ядро 19
– ложное 239
Ядровая гниль 249

Оглавление

Предисловие 4

Введение 5

Раздел I. Древесиноведение 13

Глава 1. Строение дерева 13

§ 1. Древесные растения 13
§ 2. Основные части дерева 15

Глава 2. Строение древесины и коры 19

§ 3. Макроскопическое строение древесины 19
§ 4. Определение породы по макростроению древесины 27
§ 5. Микроскопическое строение древесины 28
§ 6. Микроскопическое строение сердцевины и коры 47

Глава 3. Химические свойства древесины и коры 52

§ 7. Химический состав древесины и коры 52
§ 8. Характеристика органических веществ древесины и коры 54
§ 9. Древесина, кора и древесная зелень как химическое сырье 58

Глава 4. Физические свойства древесины и коры 70

§ 10. Внешний вид древесины 70
§ 11. Влажность древесины и коры; свойства, связанные с ее изменением 76
§ 12. Плотность 108
§ 13. Проницаемость древесины жидкостями и газами 117
§ 14. Тепловые свойства древесины 120
§ 15. Электрические свойства древесины 127
§ 16. Звуковые свойства древесины 134
§ 17. Свойства древесины, проявляющиеся при воздействии излучений 140

Глава 5. Механические свойства древесины 144

§ 18. Общие сведения о механических свойствах древесины 144
§ 19. Механические испытания древесины; принципы, общие требования и процедура 151

§ 20. Статистический анализ результатов испытаний древесины 155
§ 21. Прочность древесины при сжатии 159
§ 22. Прочность древесины при растяжении 166
§ 23. Прочность древесины при статическом изгибе 169
§ 24. Прочность древесины при сдвиге 172
§ 25. Деформативность древесины при кратковременных нагрузках 176
§ 26. Реологические свойства и гигро-термомеханические деформации древесины 183
§ 27. Длительная прочность и сопротивление усталости древесины 191
§ 28. Ударная вязкость, твердость и износостойкость древесины 194
§ 29. Способность древесины удерживать крепления, гнуться и раскалываться 200
§ 30. Удельные характеристики механических свойств древесины 203
§ 31. Характеристики древесины как конструкционного материала 205

Глава 6. Изменчивость и взаимосвязи свойств древесины 206

§ 32. Изменчивость свойств древесины 206
§ 33. Связи между свойствами древесины. Неразрушающие методы контроля прочности древесины 211
§ 34. Изменение свойств древесины под воздействием физических и химических факторов 213

Глава 7. Пороки древесины 219

§ 35. Сучки 221
§ 36. Трещины 227
§ 37. Пороки формы ствола 230
§ 38. Пороки строения древесины 233
§ 39. Химические окраски 247
§ 40. Грибные поражения 247
§ 41. Биологические повреждения 256
§ 42. Инородные включения, механические повреждения и пороки обработки 259
§ 43. Покоробленности 260

Глава 8. Стойкость и защита древесины 260

§ 44. Стойкость древесины 260
§ 45. Способы и средства повышения стойкости древесины 263

Глава 9. Основные лесные породы и их использование 265
§ 46. Хвойные породы....265
§ 47. Лиственные породы 268
§ 48. Иноземные породы....275

Раздел II. Основы лесного товароведения 280

Глава 10. Классификация и стандартизация лесных товаров....280
§ 49. Классификация лесных товаров 280
§ 50. Общие сведения о стандартизации продукции....282
§ 51. Стандартизация и качество лесных товаров 284

Глава 11. Круглые лесоматериалы 288
§ 52. Общая характеристика хлыстов и круглых лесоматериалов....288
§ 53. Технические требования к круглым лесоматериалам....291
§ 54. Методы измерения размеров и объема круглых лесоматериалов, контроль качества, приемка, маркировка....300

Глава 12. Пилопродукция....305
§ 55. Пиломатериалы....305
§ 56. Заготовки....311
§ 57. Пиленые детали. 312
§ 58. Методы испытаний пиломатериалов и заготовок....316

Глава 13. Строганые, лущеные, колотые лесоматериалы; измельченная древесина 320
§ 59. Строганые, лущеные и колотые лесоматериалы....320
§ 60. Измельченная древесина 322

Глава 14. Композиционные древесные материалы и модифицированная древесина 325
§ 61. Клееная древесина....325
§ 62. Композиционные материалы на основе измельченной древесины....330
§ 63. Модифицированная древесина 335
§ 64. Методы испытаний композиционных древесных материалов и модифицированной древесины....338

Литература 341
Предметный указатель....347

Учебное издание

Уголев Борис Наумович

ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ
И ЛЕСНОЕ ТОВАРОВЕДЕНИЕ

Под редакцией автора
Компьютерный набор и верстка издательства МГУЛ

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2007 г., доп.

Подписано в печать 03.12.2007. Формат 60×90 1/16. Бумага 80 г/м^2
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 22,0.
Тираж 1000 экз. Заказ № 707.

Издательство Московского государственного университета леса.
141005, Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
E-mail: izdat@mgul.ac.ru

По вопросам приобретения литературы издательства ГОУ ВПО МГУЛ обращаться в отдел реализации.
Телефон: (498) 687-37-14.