

В.В. Ермолаев, Д.М. Лобов, А.С. Торопов, С.В. Ключев

# **Основы строительных конструкций. Деревянные конструкции**

*Учебное пособие*



Нижний Новгород  
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В.В. Ермолаев, Д.М. Лобов, А.С. Торопов, С.В. Ключев

# Основы строительных конструкций. Деревянные конструкции

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2023

ББК 38.5  
О 75  
УДК 624.011

*Печатается в авторской редакции*

Рецензенты:

*А.Р. Столяров* – канд.тех. наук, зам. директора ООО «ИКЦ» Промтехбезопасность, директор Нижегородского филиала

*Д.А. Ламзин* – ведущий научный сотрудник научно-исследовательского института механики ФГАОУ ВО «ННГУ им. Лобачевского»

Ермолаев В.В. Основы строительных конструкций. Деревянные конструкции [Текст]: учеб. пособие / В.В. Ермолаев, Д.М. Лобов, А.С. Торопов, С.В. Ключев; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2023. – 69 с. ISBN 978-5-528-00519-5

Приведены рекомендации по изучению дисциплины «Строительные конструкции», раздела «Деревянные конструкции» студентами. Описаны основные особенности освоения материала лекций и содержание практических занятий. Изложены базовые положения по изучению студентами в трех частях курса: принципы расчета по предельным состояниям, история применения деревянных конструкций, строение древесины, достоинства и недостатки материала.

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся в ННГАСУ по направлению 08.03.01 Строительство.

## Оглавление

1. ОСНОВЫ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ (ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ) .....	4
2. ПОНЯТИЕ О РАСЧЕТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ .....	6
2.1. Понятие о расчете по предельным состояниям первой группы.....	7
2.2. Понятие о расчете по предельным состояниям второй группы.....	8
3. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.	12
4. ДЕРЕВО КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ.....	26
4.1. Применение древесины в строительстве.....	26
4.2. Основные свойства древесины как конструкционного материала: достоинства и недостатки	28
4.3. Строение древесины.....	29
4.4. Основные породы древесины.....	31
4.5. Пороки древесины.....	35
4.6. Сортамент строительных материалов из древесины.....	40
5. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	44
7. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	50
7.1. Влияние анизотропии. Длительное сопротивление древесины .....	50
7.2. Влияние пороков древесины .....	51
7.3. Влияние влажности .....	51
7.4. Влияние температуры .....	52
8. ЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ГНИЕНИЯ.....	53
8.1. Краткие сведения о гниении древесины.....	53
8.2. Конструктивные меры защиты древесины от гниения.....	54
8.3. Химические меры защиты древесины от гниения .....	56
9. ЗАЩИТА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВОЗГОРАНИЯ.....	57
10. УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	59
Практическое занятие №1 .....	62
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ И НАХОЖДЕНИЕ НОРМАТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ .....	62
Практическое занятие №2 .....	64
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ.....	64
Практическое занятие №3 .....	65
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ.....	65
ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «ОСК ДК» .....	66
Литература.....	67

## **1. ОСНОВЫ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ (ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ)**

При проектировании, которое включает в себя расчет и конструирование строительных конструкций, необходимо соблюдать требования СП. Требования строительных норм направлены на обеспечение необходимой надежности в работе как здания (сооружения) в целом, так и его отдельных элементов (конструкций), их соединений, а также оснований. При этом здания и сооружения должны отвечать требованиям долговечности и капитальности.

Существующие строительные нормы предписывают вести расчет строительных конструкций на силовые воздействия по методу предельных состояний.

**Предельными называются такие состояния для здания, сооружения, а также основания или отдельных конструкций, при которых они перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям, а также требованиям, заданным при их возведении.** Далее везде по тексту в целях его сокращения будет говориться только о конструкциях и зданиях, имея при этом в виду и сооружения, и основания, и соединения элементов конструкций.

Предельные состояния конструкций (зданий) подразделяются на две группы:

- **первая группа – по потере несущей способности или непригодности к эксплуатации.** Говоря проще, состояния, относящиеся к этой группе, считаются предельными, если в конструкции наступило опасное напряженно-деформированное состояние; в худшем случае, если она по этим причинам разрушилась;

- **вторая группа – по непригодности к нормальной эксплуатации.** Нормальной называется такая эксплуатация здания или его конструкции, которая осуществляется в соответствии с предусмотренными в нормах или заданиях на проектирование технологическими или бытовыми условиями. Другими словами, возможны случаи, когда конструкция не потеряла несущей

способности, т.е. удовлетворяет требованиям первой группы предельных состояний, но ее деформации (например, прогибы или трещины) таковы, что нарушают технологический процесс или нормальные условия нахождения людей в помещении.

**К предельным состояниям первой группы относятся:**

- общая потеря устойчивости формы (рис. 1, а, б);
- потеря устойчивости положения (рис. 1, в, г);
- хрупкое, вязкое или иного характера разрушение (рис. 1, д);
- разрушение под совместным воздействием силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды и др.

**К предельным состояниям второй группы относятся** состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций (зданий) или снижающие их долговечность вследствие появлений недопустимых перемещений (прогибов, осадок, углов поворота), колебаний и трещин.

Например, подкрановая балка, оставаясь прочной и надежной в работе, может прогнуться больше, чем установлено нормами. Вследствие этого мостовому крану с грузом приходится как бы выезжать из «ямы», образовавшейся вследствие прогиба балки, что создает дополнительные нагрузки на его узлы и ухудшает условия его нормальной эксплуатации. Другой пример: при прогибе деревянных оштукатуренных поверхностей (потолка) более чем на  $1/300$  длины пролета начинает отпадать штукатурка. Прочность балки при этом может быть не исчерпана, но нарушаются нормальные бытовые условия и может возникнуть опасность для здоровья и жизни людей. К аналогичным последствиям может привести чрезмерное раскрытие трещин, которые допустимы в железобетонных и каменных конструкциях, но ограничиваются нормами.

## 2. ПОНЯТИЕ О РАСЧЕТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям имеет своей целью не допустить наступления ни одного из предельных состояний, которые могут возникнуть в конструкции (здании) при их эксплуатации в течение всего срока службы, а также при их возведении.

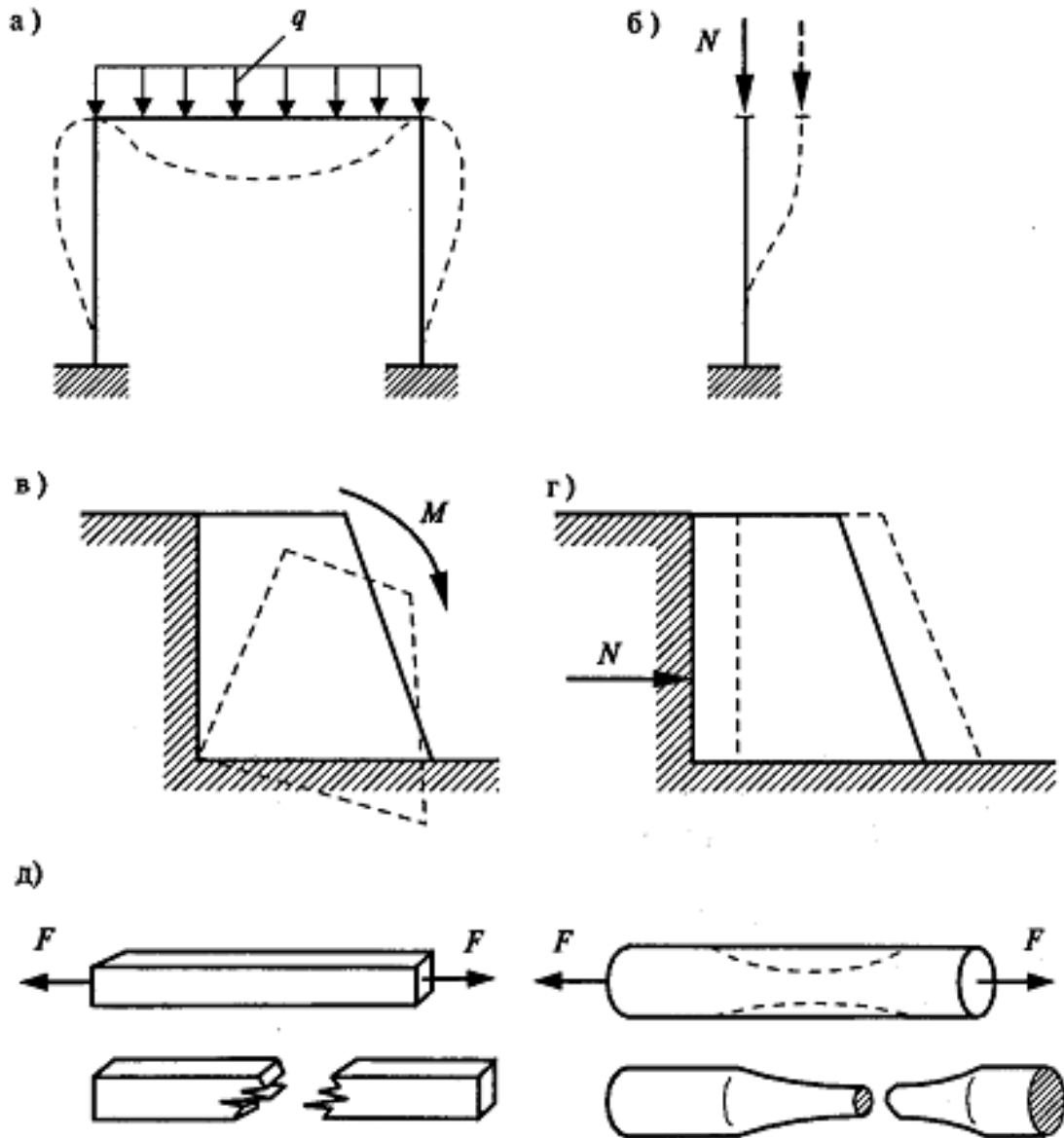


Рис. 1. Предельные состояния первой группы:

а), б) потеря общей устойчивости; в), г) потеря устойчивости положения; д) хрупкое, вязкое или иного характера разрушение

В наиболее общем виде суть расчета по предельным состояниям

заключается в том, чтобы величины усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытия трещин или величины других факторов и воздействий не превышали предельных значений, установленных нормами проектирования. Другими словами, считается, что предельное состояние не наступит, если действительные перечисленные факторы не превышают значений, установленных нормами. Вся сложность расчета заключается в том, чтобы определить величины напряжений, деформаций и т.д., возникающих в конструкциях под действием нагрузок. Сравнить их с предельными значениями обычно не представляет труда.

### 2.1. Понятие о расчете по предельным состояниям первой группы

Расчет по предельным состояниям первой группы называют расчетом по несущей способности (по непригодности к эксплуатации). **Цель такого расчета заключается в том, чтобы предотвратить наступление любого из предельных состояний первой группы**, т.е. обеспечить несущую способность как отдельной конструкции, так и всего здания в целом.

Несущая способность конструкции считается обеспеченной, если удовлетворяется неравенство типа

$$N \leq \Phi, \quad (1)$$

где  $N$  – расчетные, т.е. **наибольшие возможные усилия** (или другие факторы) могущие возникнуть в сечении элемента (для сжатых и растянутых элементов – это продольная сила, для изгибаемых – изгибающий момент и т.д.), Они зависят в первую очередь от нагрузки и определяются по правилам строительной механики в зависимости от конструктивной схемы, способов соединения конструкций и т.д.;

$\Phi$  – **наименьшая возможная несущая способность** сечения элемента, подвергающегося сжатию, растяжению или изгибу. Она зависит от прочностных свойств материала конструкции, геометрии (формы и размеров) сечения и в наиболее общем виде может быть выражена (как функция, зависящая от материала и геометрических факторов сечения) в следующем



виде:

$$\Phi = \{R; A\}, \quad (2)$$

где  $R$  – расчетное сопротивление материала (которое является одной из основных прочностных характеристик материала);

$A$  – геометрический фактор (площадь поперечного сечения при растяжении и сжатии, момент сопротивления – при изгибе и т.д.).

Для некоторых конструкций несущая способность считается обеспеченной, если выполнено условие (3), которое является частным случаем условия (1):

$$\sigma \leq R, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – нормальные напряжения в сечении конструкции (элемента), которые определяются, как правило, по формулам сопротивления материалов. Иногда в соответствующих расчетах приходится сравнивать с расчетным сопротивлением материала другие напряжения (касательные, главные и др.).

## 2.2. Понятие о расчете по предельным состояниям второй группы

**Цель этого расчета – не допустить ни одного из предельных состояний второй группы, т.е. обеспечить нормальную эксплуатацию строительных конструкций или здания в целом.**

Считается, что предельные состояния второй группы не наступят, если будет удовлетворено условие

$$f \leq f_u, \quad (4)$$

где  $f$  (в общем случае) – это **определенная из расчета деформация конструкции** (перемещение, угол поворота сечения и т.д.). Для изгибаемых элементов это прогиб конструкции или ее элемента, для стержневых систем – укорочение или удлинение стержней, для оснований – величина осадки. Они определяются по правилам строительной механики в зависимости от нагрузки, материала и расчетной схемы конструкции;

$f_u$  – предельная деформация конструкции (перемещение, угол поворота сечения и т.д.). Для балок – предельный прогиб, который определяется в соответствии с требованиями СП 20.13330.2016.

К предельным состояниям второй группы относится также образование чрезмерных трещин. Трещины, вообще говоря, допустимы, но не для всех материалов. Они допустимы в некоторых железобетонных и каменных конструкциях, но ширина их раскрытия, так же как и прогибы, ограничивается нормами. Структура формул при обеспечении предельного состояния по раскрытию трещин остается такой же, как и при обеспечении деформаций или прогибов, т.е. аналогична условию (4).

### 2.3. Нормативные и расчетные значения сопротивлений материалов и нагрузок

При расчетах по предельным состояниям первой и второй групп в качестве главного прочностного показателя материала, как уже отмечалось, устанавливается его сопротивление, которое (наряду с другими характеристиками) может принимать нормативные и расчетные значения:

$R_n$  – **нормативное сопротивление материала**, представляет собой **основной параметр сопротивления материалов** внешним воздействиям и устанавливается соответствующими главами строительных норм (с учетом условий контроля и статистической изменчивости сопротивлений). Физический смысл нормативного сопротивления  $R_n$  – это контрольная или браковочная характеристика сопротивления материала с обеспеченностью не менее 0,95%;

$R$  – **расчетное сопротивление материала**, определяется по формуле

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (5)$$

где  $\gamma_m$  – **коэффициент надежности по материалу**, учитывает возможные отклонения сопротивления материала в неблагоприятную сторону от нормативных значений,  $\gamma_m > 1$ .

Коэффициент надежности по материалу учитывает несоответствие

фактической работы материала в конструкциях и его работы при испытании в образцах, а также возможность попадания в конструкции материала со свойствами ниже установленных в ГОСТ.

Расчетные сопротивления в расчетах следует принимать с коэффициентом условий работы  $\gamma_c$  :

$\gamma_c$  – **коэффициент условий работы**, учитывает особенности работы материалов, элементов и соединений конструкций, а также зданий и сооружений в целом, если эти особенности имеют систематический характер, но не отражаются в расчетах прямым путем (учет температуры, влажности, агрессивности среды, приближенности расчетных схем и др.). При выводе расчетных формул и написании формул, приводимых в СП, иногда не указывают, что расчетные сопротивления умножаются на  $\gamma_c$  , но если коэффициент условия работы отличается от единицы, на него всегда надо умножать расчетное сопротивление, т.е. во всех формулах, где есть  $R$ , вместо  $R$  надо подставлять произведение  $R \cdot \gamma_c$ .

Нормативные  $R_n$  и расчетные  $R$  сопротивления приводятся в соответствующих главах СП в зависимости от материала.

Нормативные и расчетные значения устанавливаются не только для сопротивлений материалов, но и для нагрузок, учитывая изменчивость их величин или невозможность их определения с абсолютной точностью:

$N_n$  – **нормативная нагрузка**, рассчитывается по проектным размерам конструкций или принимается в соответствии с главой СП 20.13330,2016 «Нагрузки и воздействия»;

$N$  – **расчетная нагрузка**, определяется по формуле

$$N = N_n \cdot \gamma_f, \quad (6)$$

где  $\gamma_f$  – **коэффициент надежности по нагрузкам**, учитывает возможные отклонения нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от их нормативных значений. Как правило,  $\gamma_f > 1$ .

Нормы учитывают также возможные последствия от аварий, этот учет

ведется при помощи коэффициента надежности по ответственности, на который умножаются расчетные нагрузки, что ведет к понижению или повышению их значения:

$$N \cdot \gamma_n, \quad (7)$$

где  $\gamma_n$  – **коэффициент надежности по ответственности**, учитывает экономические, социальные и экологические последствия, которые могут возникать в результате аварий. Большинство зданий (сооружений) массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения) относятся к нормальному уровню ответственности, для которого установлено значение коэффициента  $\gamma_n = 1,0$ . Подробнее см. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

Вследствие того, что наступление предельных состояний, относящихся ко второй группе, не связано с потерей несущей способности конструкций или здания в целом, нагрузки сопротивления материалов, которые используются в расчетах по этой группе, принимаются численно равными нормативным значениям.

При расчетах по первой группе предельных состояний, которые связаны с обеспечением несущей способности конструкции (здания), принимают расчетные значения: расчетные нагрузки  $N$  и расчетные сопротивления материал  $R$ .

При сравнении расчетных и нормативных значений видно, что расчетные нагрузки обычно больше нормативных, а расчетные сопротивления меньше нормативных сопротивлений. Так учитывается в большая ответственность расчета по предельным состояниям первой группы по сравнению с расчетами, относящимися ко второй группе.

### 3. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Древесина – ценный и благородный, экологически чистый строительный материал, который применяется в строительстве с древнейших времен. Этому способствовало наличие большого количества лесоматериалов, его возобновляемость, легкость обработки и транспортировки деревянных элементов к месту строительства. Кроме того древесина обладает хорошими конструкционными качествами – значительной прочностью и упругостью при сравнительно небольшой массе.

Историческое развитие деревянных конструкций, как отрасли, неизбежно связано с развитием производства.

В каменном веке (свыше 10 тыс. лет до нашей эры) дерево использовалось для различных жилых построек, навесов, заборов, оград для скота и т.д. Первые инженерные сооружения – бревна, переброшенные через ручьи и овраги.

В более позднее время (1-2 тыс. лет до нашей эры), с появлением железных орудий труда появилась возможность изготовления конструкций с устройством соединений с помощью врубок (вырубали топором, отсюда и название соединения).

В эпоху рабовладельческого строя появились орудия производства, позволяющие сверлить и выдалбливать отверстия, в которые вбивались нагели (штыри, гвозди, пластины). Появляется новый вид соединения деревянных элементов – нагельный. Этот вид соединений позволил значительно расширить конструктивные формы деревянных конструкций:

- конструкция моста через р. Рейн, который был построен в I в. до н.э. войсками Цезаря (рис. 2, а);
- в этот же период был построен арочный деревянный мост через р. Дунай;
- мост через реку Ефрат (г. Басра) (рис. 2, б).

В период феодального строя дерево становится одним из основных строительных материалов.

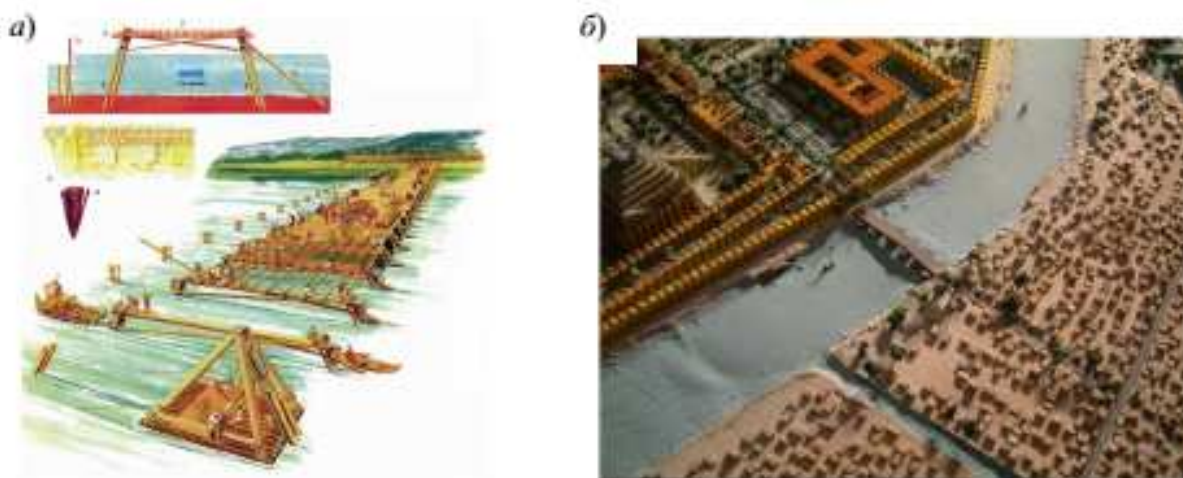


Рис. 2. Конструкции мостов: а – конструкция моста через реку Рейн, длина 350 м, ширина 30,0 м, материал: древесина хвойных пород, б – мост через реку Ефрат (г. Басра), длина около 600 м, ширина 8,0 м, порода древесины – птерокарпус.

В России, стране богатой лесными материалами, применялись деревянные конструкции из горизонтально расположенных бревен, соединенных по углам сложными узлами с применением врубок (прямоугольный сруб, квадратный сруб (четверик), многоугольный сруб (восьмерик), двускатный сруб (многогранный шатер) и другие (рис. 3).

Рассмотрим примеры, сохранившихся на территории России древнейших деревянных сооружений:

- маленькая церковь воскрешения Лазаря в Муромском монастыре Карельской АССР (14 век). В конце 19 века вокруг нее для защиты был сооружен сруб-футляр (рис. 4).

- крепостные стены высотой до 8,5м, башни высотой до 40,0м, сооружения башенного типа в виде шатровых храмов:

- построенная в 10 веке в Новгороде дубовая соборная церковь Софии, снабженная 13 главами (рис. 5);

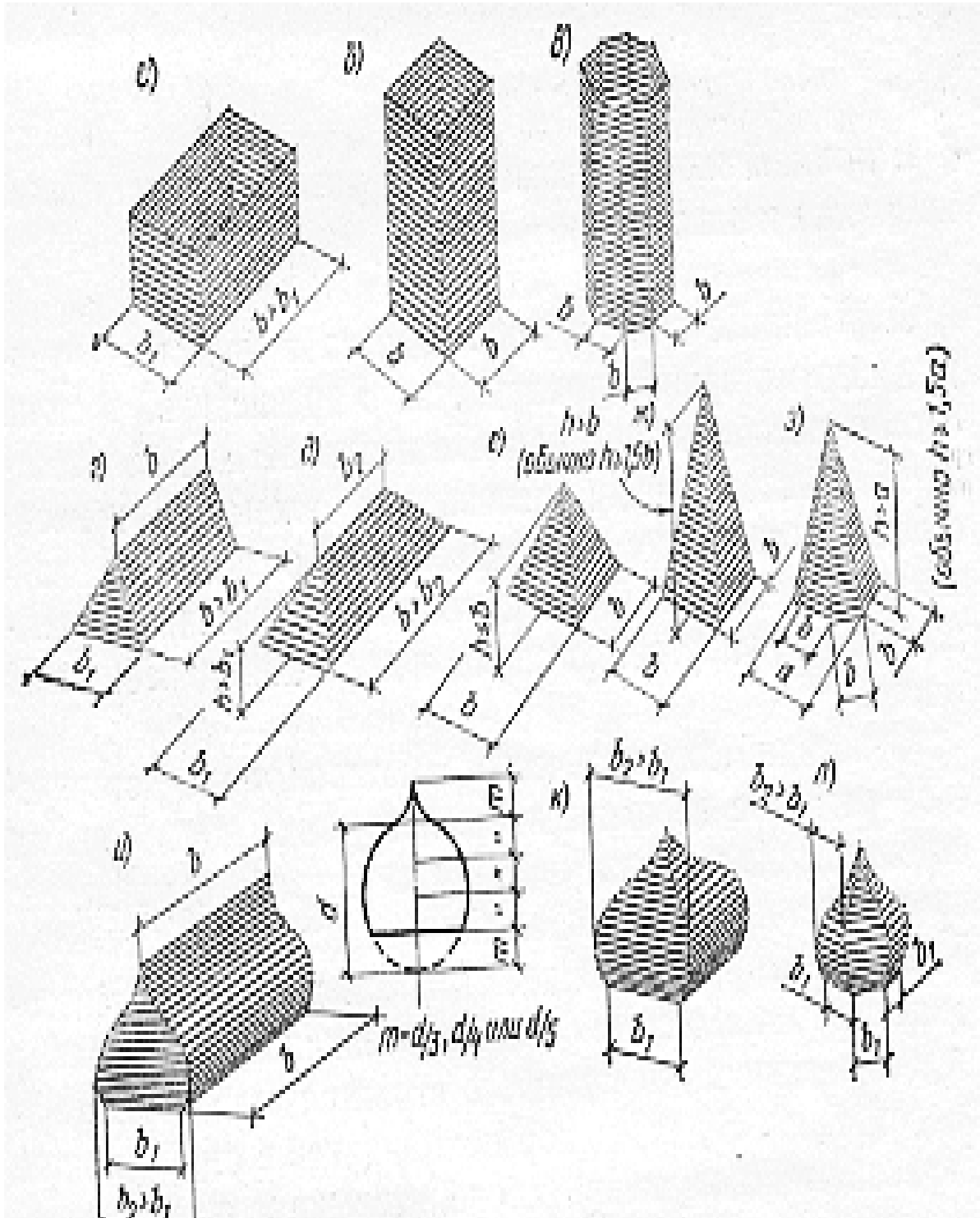


Рис. 3. Основные формы бревенчатых несущих конструкций из горизонтально расположенных бревен в виде сруба

Для стен: а – прямоугольный сруб; б – квадратный сруб (четверик); в – многоугольный сруб (восьмерик); для покрытий: г – двускатный сруб, д – четырехскатный сруб (палатка или епанча); шатровые пирамидальные четырехгранные срубы: е – низкий (колпак), ж – высокий (шатер), з – многогранный шатер; и – килевидный сруб (бочка); к – кубоватое четырехгранное покрытие (куб); л – кубоватое многогранное покрытие.



Рис. 4. Церковь воскрешения Лазаря в Муромском монастыре (14 век).



Рис. 5. Дубовая соборная церковь Софии с тринадцатью главами

- деревянный дворец в Коломенском под Москвой, построенный для царя Алексея Михайловича строителями, которыми руководил плотничный староста Петров (просуществовал с конца 17 до середины 18 века, реставрирован в 20 веке) (рис. 6);





Рис. 6. Деревянный дворец в Коломенском.

- Преображенская церковь в Кижях на Онежском озере (1714г.) (рис. 7), наиболее сложной в этом ансамбле является конструкция двадцатидвухглавого Преображенского храма высотой 35,0м.



Рис. 7. Ансамбль в Кижях на Онежском озере

С появлением специалистов – плотников, «городников» и «мостовиков», как их называли в то время, строительство все более совершенствовалось как в отношении конструкций, так и в отношении повышения темпов постройки.

Выдающимся для своего времени примером служит город-крепость Свияжск, под Казанью. Город «рубил» зимой 1551 года в Угличском уезде, за 1000 км от Казани. После пробной сборки части сооружения отправили

сплавом по Волге к устью реки Свияги. Здесь, в течение месяца, на высокой горе постройка была собрана, руководил работами зодчий «горододелец» Иван Выродков.

Пилы начали применять, на наиболее крупных постройках, в XVI - XVII веках (рис. 8).

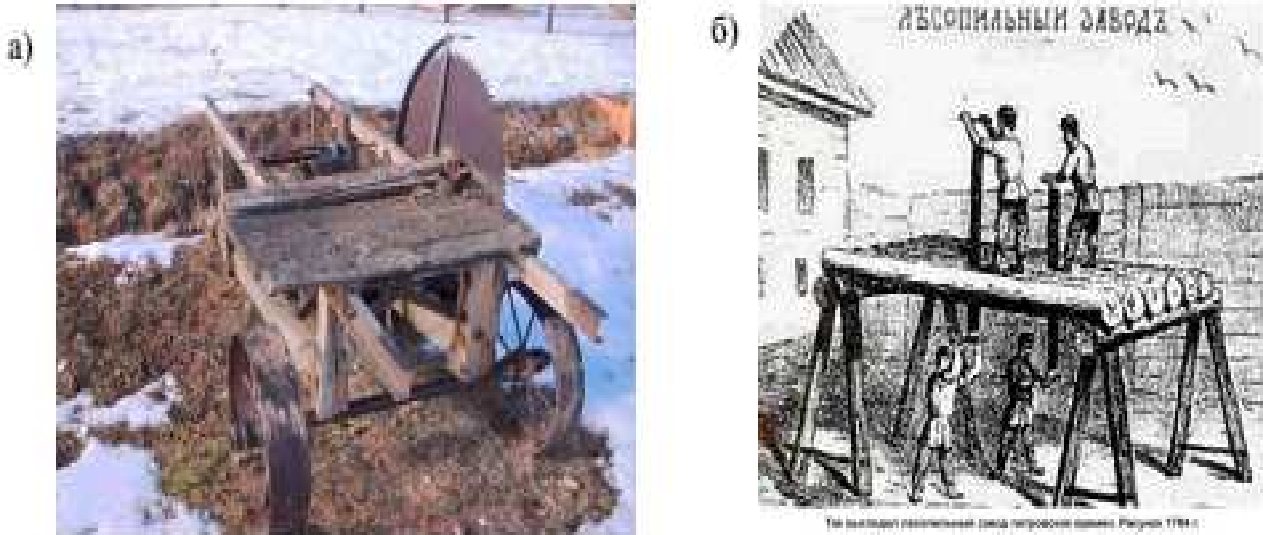


Рис. 8. Передвижная циркулярная пила, лесопильный завод.  
а – передвижная циркулярная пила, б – лесопильный завод.

В начале XVIII века начали появляться здания каркасной конструкции с засыпкой между обшивками торфом. В западных странах, менее богатых лесом, преобладали каркасные конструкции в виде фахверка с заполнением каменной кладкой.

К этому же периоду относится строительство ряда промышленных зданий и гигантских по своим масштабам для того времени гидротехнических сооружений. Интересным примером инженерного искусства XVIII века являются гидротехнические сооружения Вышневолоцкой системы и деревянные шлюзы Ладожского канала (1731 г).

Широко использовались деревянные конструкции для устройства подмостей, подъемных устройств, лесов (рис. 9).

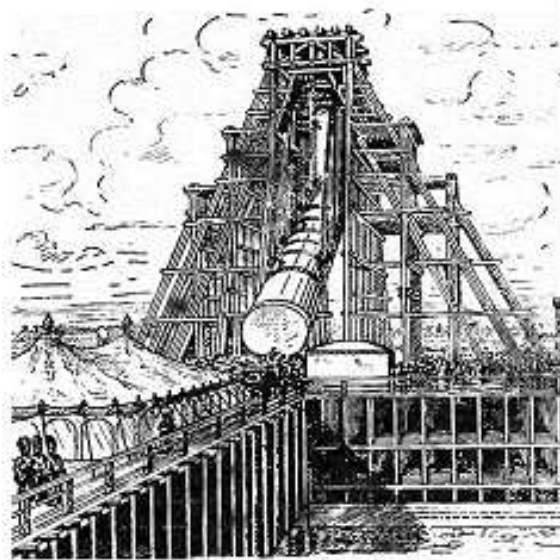


Рис. 9. Деревянная конструкция порталного крана для подъема Александровской колонны в Петербурге.

Во времена классицизма, в конце XVIII и первой трети XIX века очень много домов строили из дерева, как из наиболее дешевого строительного материала, но далеко не все они выглядят, как деревянные. Вот, например, дом Муравьевых-Апостолов на Старой Басманной улице в г. Москве. На вид – каменный особняк, на самом деле – деревянное здание (рис. 10).



Рис. 10. Дом Муравьевых-Апостолов на Старой Басманной улице в г. Москве во время и после реставрации

В 18-19 века совершенства достигли при создании домов, церквей, часовен, хозяйственных построек. Примером таких конструкций являются:

- конструкция башни Адмиралтейства высотой 72,0м, осуществленная по проекту Ивана Кузьмича Коробова в С. Петербурге (рис. 11);



Рис. 11. Шпиль Адмиралтейства в С. Петербурге

- шпиль колокольни высотой 118,0м в Петропавловской крепости в С. Петербурге;

- центральный выставочный зал в Москве (бывший Манеж), построенный в 1817 году по проекту архитекторов Августа Августовича Монферрана и Августина Августиновича Бетанкура в честь победы России над Наполеоном – фермы покрытия пролетом 48,0 м, которые являются уникальными конструкциями даже для современного строительства (рис. 12).



Рис. 12. Фермы для перекрытия манежа в Москве пролетом 48 м.

Уникальны следующие деревянные конструкции:

- проект моста через Неву пролетом около 300 м изобретателя Ивана Петровича Кулибина (1735-1818 г.г.), разработанный в Санкт-Петербурге в 1776г. (конструкция этого моста представляет собой комбинированную систему, состоящую из гибкой арки и жесткой решетчатой арокной фермы.

Мост Кулибина построен не был, сохранилась только модель в 1/10 натуральной величины, однако, идея Кулибина по использованию многорешетчатой фермы нашла применение во многих конструкциях 19-20 в.в., как в нашей стране, так и за рубежом (рис. 13).



Рис. 13. Модель моста Кулибина в Санкт-Петербурге.

- Колонный зал дома Союзов (бывший дом Благородных собраний) – один из лучших концертных залов в России по акустике, построенный в конце XVIII века по проекту архитектора Матвея Фёдоровича Казакова – фермы пролетом 25,0 м – деревянные на лобовых врубках, колонны – также деревянные. Деревянная конструкция колонн состоит из четырёх, связанных друг с другом металлическими болтами, деревянных стоек диаметром 27- 30 см, заключенных в обручи и обшитых досками, по которым наметан слой штукатурки с отделкой искусственным мрамором (рис. 14);



Рис. 14. Колонный зал дома Союзов

- постройки в Малых Карелах Архангельской области (рис. 15).

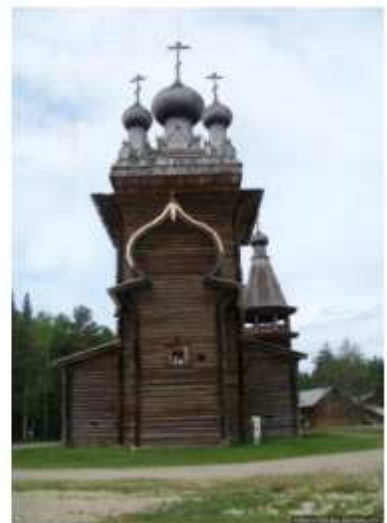


Рис. 15. Постройки в Малых Карелах Архангельской области.

Огромный вклад в создание инженерных деревянных конструкций и теорию расчета внес Дмитрий Иванович Журавский (1821-1891 г.г.). По его проектам был построен ряд железнодорожных мостов, он вывел формулу для сдвигающих усилий при изгибе сплошной балки, предложил способ расчета шпоночных соединений, формулу для определения касательных напряжений при изгибе деревянного элемента. Им был впервые создан метод расчета ферм, в основе которого использована идея вырезания узлов и составлены уравнения равновесия, принцип блокирования плоских ферм в коробчатую систему посредством решетчатых связей явился прототипом нынешних стержневых пространственных конструкций (рис. 16, 17).

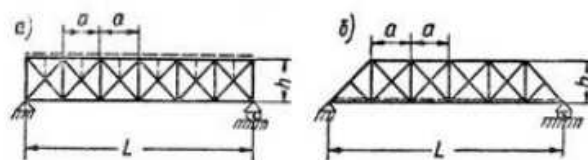


Рис. 16 Фермы с перекрестной решеткой Д.И. Журавского

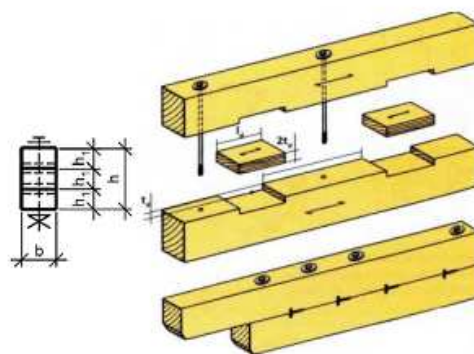
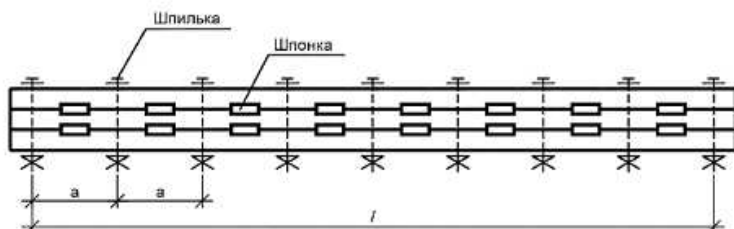


Рис. 17 Балка с соединением на призматических шпонках

Большой вклад в создание пространственных деревянных конструкций и сооружений внес Владимир Григорьевич Шухов (1853-1939 г.г.). Среди деревянных конструкций В.Г. Шухова следует выделить тонкостенные дощатые своды, которые представляли собой многослойную конструкцию из тонких, уложенных плашмя и изогнутых по дуге досок. Распор свода воспринимался металлическими затяжками. Также В.Г. Шуховым были разработаны плоские арочные конструкции, сводчатые конструкции.

В 1929г. была создана система нормативных документов по проектированию деревянных конструкций.

В 20-е годы начали применять дощато-гвоздевые конструкции виде балок с перекрестной дощатой стенкой, которая в 30-е годы была использована в пространственных конструкциях (цилиндрических сводах, оболочках, башнях).

К этому времени относится успешное освоение и применение для сводов и других пространственных покрытий.

Большой вклад внесли кружально-сетчатые конструкции системы С.И. Песельника (1932 г.); пластинчатые нагели инженера В.С. Дервягина, которые успешно применялись для изготовления деревянных брусчатых балок и верхних сжато-изогнутых поясов ферм (рис. 18).

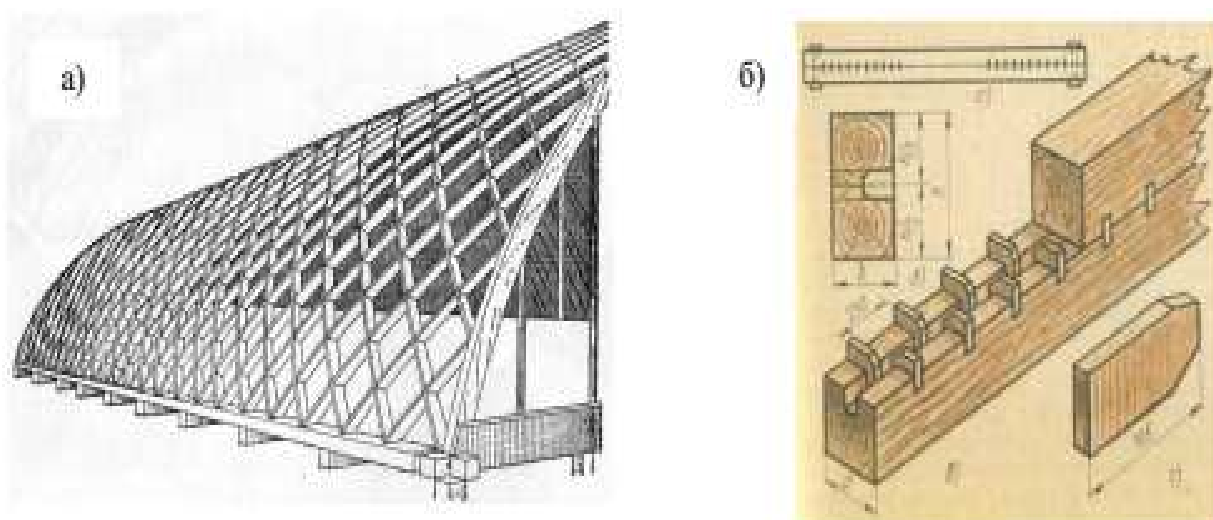


Рис. 18. а – кружально-сетчатый свод С.И. Песельника, б – балка на пластинчатых нагелях В.С. Дервягина

В теорию и практику применения деревянных конструкций свой вклад внесли также российские ученые: В.З. Власов (тонкостенные оболочки); А.Р. Ржаницын (составные стержни на податливых связях); В.Ф. Иванов (нагельные и гвоздевые соединения).

Одним из эффективных направлений в индустриализации строительства явилось применение деревянных клееных конструкций (из досок), позволяющих существенно увеличить пролеты и сечения деревянных



конструкций, долговечность сооружений (особенно эксплуатируемых в агрессивных средах) (рис. 19).

В настоящее время разработана широкая номенклатура клееных конструкций. В их числе: арочные большепролетные конструкции, гнутоклееные рамы, балки и стрельчатые арки, трехшарнирные арки, панели стен и плиты покрытий пролетами 3 и 6 м и др.

LVL-брус или дословно «пиломатериал из слоёного шпона», от англ. Laminated Veneer Lumber, появился в нашей стране в 2009 году.

Ассортимент, достаточно широк. Производители выпускают как монолитные плиты, кровельные панели, несущие конструкции, а также брус для монтажа оснований каркасных строений и несущих конструкций пола. Кроме того, часть сырья идёт на создание ограждающих материалов.



Рис. 19. Клееные деревянные конструкции

CLT-панели – многослойный материал, состоящий из деревянных ламелей, сложенных в ряды. Изделия склеиваются между собой и спрессовываются. Ряды располагаются крест-накрест относительно друг друга. Вертикальные ламели обеспечивают высокую несущую способность, а горизонтальные — жесткость в продольной плоскости.

Впервые эту технологию применили в Швейцарии в 90-х годах прошлого столетия. Немного доработав ее, некоторые компании начали собственное производство. Первые современные CLT-панели были разработаны в 1996 году в Австралии. Из таких панелей стали возводить не

только одноэтажные, но и многоэтажные здания, многоквартирные дома в Западной Европе. В нашей стране производство CLT-панелей активно развивается.



Рис. 20. Общий вид деревянных панелей: а) CLT-панели;  
б) МНМ-панели.

МНМ-панели. Технология МНМ (Massiv-Holz-Mauer) – это производство стеновых монолитных панелей из дерева. В отличие от панели CLT, где между каждым смежными слоями древесины нанесен слой клея, в панелях по технологии МНМ смежные слои досок укладываются друг на друга крест-накрест (как в CLT), но скрепляются не клеем, а алюминиевыми гвоздями, поскольку при дальнейшей механической обработке гвозди не представляют угрозы для дереворежущего инструмента.

## **4. ДЕРЕВО КАК СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ**

### **4.1. Применение древесины в строительстве**

#### **4.1.1. Пути повышения эффективности применения деревянных конструкций в строительстве**

Наша страна является первой в мире по количеству лесных площадей, занимающих примерно 12,3 млн. км<sup>2</sup>, запасы древесины на корню составляют около 80 млрд. м<sup>3</sup> (около 40% мировых запасов). Ежегодно заготавливается около 280 млн. м<sup>3</sup> деловой древесины, т.е. пригодной для изготовления конструкций и изделий. В наше время на новое строительство ежегодно расходуется около 200 млн м<sup>3</sup> деловой древесины. Основная часть лесов России расположена в районах Сибири, Дальнего Востока, в северных областях европейской части страны.

Преобладающими породами являются хвойные (37% лесов занимает лиственница, 19% – сосна, 20% – ель и пихта, 8% – кедр). Лиственные породы занимают около ¼ площади наших лесов. Наиболее распространенной породой является береза, занимающая около 1/6 общей площади лесов.

Заготовленный лес в виде отрезков стволов стандартной длины доставляется автомобильным, железнодорожным и водным транспортом или путем сплава по рекам и озерам на деревообрабатывающие предприятия. Там из него изготавливают пиленные материалы, фанеру, древесные плиты, конструкции и строительные детали. При лесозаготовке и обработке древесины образуется большое количество отходов, эффективное использование которых имеет большое народно-хозяйственное значение.

Ценные строительные свойства древесины определяют и области ее эффективного использования. Малая плотность сухой древесины при сравнительно большой прочности и жесткости (вдоль волокон) делает целесообразным применение деревянных конструкций в покрытиях общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий, поскольку в них, наряду с наиболее полным использованием лучших конструктивных свойств сухой древесины, легче всего осуществить конструктивные меры

борьбы с гниением. Экологическая чистота делает древесину особенно целесообразной для строительства жилья, в частности коттеджного типа. В ограждающих частях отапливаемых зданий при этом хорошо используется малая теплопроводность сухой древесины поперек волокон. Химическая стойкость сухой древесины оправдывает преимущественное применение безметалльных и особенно клееных деревянных конструкций для покрытий химических цехов и складов.

Для несущих конструкций применяют сосну, ель, лиственницу, пихту, кедр. Лиственные породы – осину, березу, ольху, липу и тополь – применяют лишь в конструкциях временных зданий и сооружений, а также для устройства опалубки, лесов и подмостей.

В современном строительстве все шире применяются высококачественные, долговечные и экономичные деревянные детали и конструкции, удовлетворяющие требованиям индустриального изготовления, с применением комплексной механизации и переработки отходов производства. В наибольшей степени требованиям современного строительства отвечают клееные деревянные конструкции. Они позволяют повышать качество строительства и широко применять сборные детали любой формы и размеров. Клееные конструкции являются наиболее экономичными по расходу лесоматериала.

Применение новых материалов типа водостойкой фанеры, древесностружечных и древесноволокнистых плит, древеснослоистых пластиков и фибролита позволяет использовать малопригодную для строительства древесину и отходы.

Индустриальное производство из высушенного лесоматериала и применение необходимых конструктивных и химических мероприятий по защите древесины от гниения и пожарной опасности создает условия для существенного повышения капитальности деревянных конструкций.

Дальнейшее прогрессивное развитие производственной базы заводского изготовления деревянных строительных конструкций должно быть

ориентировано на повышение их эксплуатационных качеств и капитальности, на ускорение темпов строительства и повышение производительности труда не только в процессе заводского изготовления укрупненных элементов сборных сооружений, но и при их монтаже.

#### **4.1.2. Рациональные области применения деревянных конструкций:**

- 1) зрительные и общественные здания, спортивные сооружения, выставочные павильоны, рынки и др. пролетом от 18 до 100 метров;
- 2) здания с химически активной средой (складские здания пролетом до 45,0м для перегрузки и хранения минеральных удобрений);
- 3) производственные и сельскохозяйственные здания;
- 4) не отапливаемые здания промышленных предприятий;
- 5) быстровозводимые здания комплектной поставки (для отдаленных районов Севера);
- 6) инженерные сооружения (опоры линий электропередач, мосты небольшой грузоподъемности, переходные мосты и т.д.).

#### **4.2. Основные свойства древесины как конструкционного материала:**

##### **достоинства и недостатки**

##### **К достоинствам древесины относятся следующие:**

- небольшая плотность и высокая удельная прочность;
- низкий коэффициент теплопроводности;
- относительно низкий коэффициент температурного расширения;
- высокая химическая стойкость (по отношению к агрессивным солевым и кислотным средам);
- легкость обработки, высокие акустические качества, богатство сырьевой базы.

##### **Главными недостатками древесины являются следующие:**

- неоднородность, которая вызвана особенностями строения материала, наличием естественных пороков. Это приводит к разбросу показателей прочности по отношению к направлению волокон;
- зависимость свойств древесины от ее собственной влажности и от

влажности окружающей среды;

- низкая огнестойкость тонких элементов;
- подверженность древесины загниванию и повреждению насекомыми.

### 4.3.Строение древесины

В результате растительного происхождения древесина имеет трубчатое слоисто-волокнистое строение. Основную массу древесины составляют древесные волокна, расположенные вдоль ствола. Они состоят из удлиненных пустотелых оболочек отмерших клеток (трахеидов, длиной порядка 3 мм) и органических веществ (целлюлозы и легнина).

Каждый годичный слой состоит из двух частей. Внутренний слой (более широкий и светлый) состоит из мягкой ранней древесины, образующейся весной, когда дерево растет быстро. Клетки ранней древесины имеют более тонкие стенки и широкие полости. Клетки поздней древесины имеют более толстые стенки и узкие полости. Прочность и плотность древесины зависит от относительного содержания в ней поздней древесины.

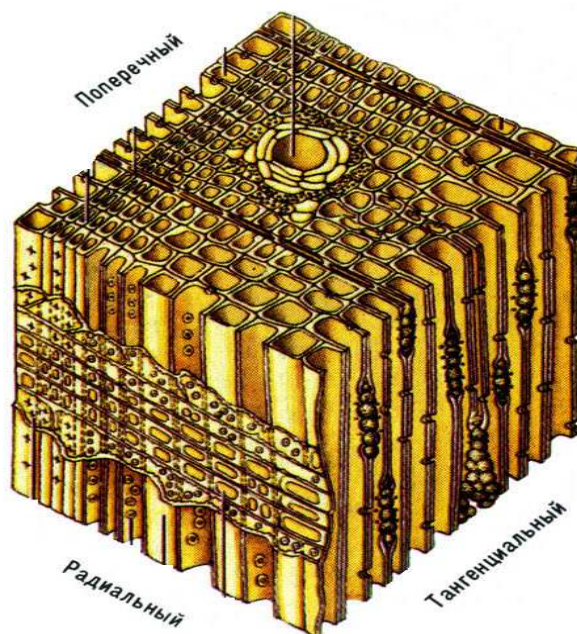


Рис. 21. Строение древесины. Макроструктура ствола в разрезе.

**Кора** является как бы одеждой для дерева и состоит из наружного

пробкового слоя и внутреннего – лубяного. Пробковый слой коры является отмершим. Лубяной слой служит проводником соков, питающих дерево. Основная внутренняя часть ствола дерева состоит из древесины. В свою очередь, древесина ствола состоит из множества слоев, которые на разрезе видны как годовые кольца. По числу годовых колец определяют возраст дерева.

На торцовой поверхности древесного ствола у некоторых пород деревьев отчетливо видны светлые блестящие полосы, идущие веерообразно от сердцевины к коре, – это **сердцевинные лучи**. Они проводят в стволе воду в горизонтальном направлении, а также запасают питательные вещества. Древесина легко раскалывается по сердцевинным лучам и растрескивается при высыхании.

В середине ствола многих деревьев хорошо видна **серцевина**. Она состоит из рыхлых тканей, образованных в первые годы жизни дерева. Рыхлая первичная ткань, имеет малую прочность и легко загнивает. Она не допускается в тонких досках и брусках, которые будут работать на изгиб и растяжение.

На торце вокруг сердцевины концентрическими кольцами расположены годовые, или годовые, слои древесины.

Между древесиной и корой расположен тонкий слой живых клеток, называемый **камбием**. Одновременно с приростом нового годового слоя внутри ствола происходит постепенное отмирание более ранних годовых слоев, находящихся ближе к сердцевине.

Отмершую древесину внутри ствола принято называть **ядром**. Слой живой древесины, расположенный вокруг ядра, называют **заболонью**. Заболонь состоит из более молодой древесины, в которой еще имеются живые клетки, по которым питательные вещества идут от корней к кроне. Эта часть древесины имеет большую влажность, легко загнивает, малопрочна, обладает большой усушкой и склонна к короблению (рис. 22).

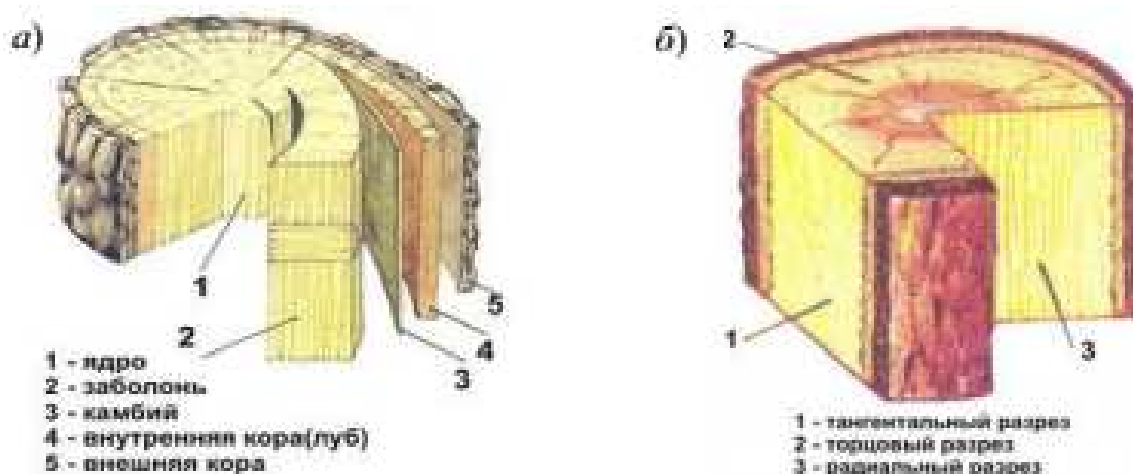


Рис. 22. а – строение ствола, б – главные разрезы ствола.

У некоторых древесных пород (дуб, бук, клен и др.) на торцовом сечении можно видеть узкие радиально расположенные полоски – сердцевинные лучи.

В некоторых породах может отсутствовать ядровая часть, (береза, липа, клен, граб и др.) и тогда породы именуется заболонными.

В других породах заболонь имеет цвет центральной части ствола, причем центральная часть остается более сухой, такие породы называются спело-древесными (ель, пихта, осина, бук). Кроме того, в древесине имеются горизонтальные сердцевинные лучи, мягкая сердцевина, смоляные ходы, сучки.

#### 4.4. Основные породы древесины

##### 4.4.1. Хвойные породы

**СОСНА** – ядровая порода, ядро буровато-красного цвета, заболонь – желтовато-бурая, широкая, годовичные слои хорошо видны, смоляные ходы довольно крупные и многочисленные. Применение: несущие конструкции, столбы, сваи, шпалы, столярные изделия, фанера (рис. 23, а).

**ЕЛЬ** – спелодревесная порода, древесина белого цвета, имеются смоляные ходы различного диаметра, но меньше, чем у сосны, поэтому у ели повышенное загнивание. Применение: несущие конструкции, столбы, сваи, шпалы, столярные изделия, фанера.

**ЛИСТВЕННИЦА** – ядровая порода, имеет ядро красновато-бурого цвета



и узкую заболонь белого цвета. Прочность, плотность и твердость выше, чем у сосны и ели на 30%, имеет повышенную гниlostойкость, склонна к растрескиванию. Применение: гидротехническое строительство, шпалы, рудничные стойки (рис. 23, б).

КЕДР – ядровая порода, имеет ядро светло-бурого цвета и широкую заболонь, почти такого же цвета. Механические свойства у него ниже, чем у сосны. Применение: для столярных изделий, отделки мебели в виде фанеры, в виде круглого леса и пиломатериалов (рис. 23, в).

ПИХТА – по древесине схожа с елью, но не имеет смоляных ходов, поэтому легко загнивает. Применяется наравне с елью, но в сухих условиях эксплуатации (рис. 23, г).

а)



б)



в)



г)



Рис. 23 – Хвойные породы: а – сосна, б – лиственница, в – кедр, г – пихта.

#### 4.4.2. Лиственные породы

ДУБ – ядровая порода с ярко выраженным ядром от светло- до темно-бурого цвета и узкой светло-желтой заболонью. Отличается высокой прочностью, стойкостью против гниения, красивой текстурой и цветом, но дает значительную усушку, что может вызвать растрескивание. Применение: несущие конструкции в гидротехническом строительстве, мостостроении, для изготовления паркета, ножевой фанеры, для изготовления оконных переплетов и дверей (рис. 24, а).

ЯСЕНЬ – напоминает дуб, но имеет более светлую окраску. Применяется наравне с дубом, но в сухих условиях (рис. 24, б).

БЕРЕЗА – заболонная порода, имеет древесину белого цвета с легким желтоватым и красноватым оттенком, твердую, прочную, но легко загнивающую древесину. Применение: для изготовления фанеры, некоторых столярных изделий. Карельская береза, имеющая свилеватое строение, применяется для производства мебели (рис. 24, в).

ОСИНА – заболонная порода, древесина белая, менее прочная, чем у березы. При высыхании не коробится и мало трескается, но во влажном состоянии легко загнивает. Применяется для временных сооружений и изготовления фанеры (рис. 24, г).

БУК – спелодревесная порода белого цвета с красноватым оттенком, очень прочная, с красивой текстурой на радиальном разрезе, хорошо гнется, не гниет, не коробится, не трескается. Применение: изготовление паркета, шпал, фанеры, мебели и т. п. (рис. 24, д).

ОЛЬХА – заболонная порода, склонна к загниванию. Применяется, как и береза (рис. 24, е).

Другие лиственные породы (липа, клен, тополь) используют для временных неответственных построек.

Лиственные породы произрастают в районах интенсивного освоения земель для сельскохозяйственного и промышленного производства, поэтому не имеют больших промышленных запасов.

Хвойная древесина содержит смолы, благодаря чему она лучше

сопротивляется увлажнению и загниванию, чем лиственная.

Дубовая древесина выделяется среди лиственных пород повышенной прочностью и стойкостью к загниванию. Однако ввиду дефицитности и высокой стоимости она используется только для небольших соединительных деталей.

а)



б)



в)



г)



д)



е)



Рис. 24 Лиственные породы: а – дуб, б – ясень, в – береза, г – осина, д – бук, е – ольха.

#### 4.5. Пороки древесины

Качество лесоматериалов определяется степенью однородности строения древесины, от которой зависит ее прочность. Степень однородности древесины определяется размерами и количеством участков, где однородность ее строения нарушена и прочность снижена. Такие участки называют пороками.

**Основными недопустимыми пороками** древесины являются: гниль, червотчины и трещины в зонах скалывания в соединениях (рис. 25).



Рис. 25. Недопустимые пороки древесины: а – гниль, б – червотчины.

Наиболее распространенными, неизбежными допустимыми с ограничениями пороками древесины являются:

##### **- пороки строения древесины:**

а) сучки – заросшие остатки бывших ветвей дерева. Сучки различаются на светлые и тёмные; сросшиеся, несросшиеся и выпадающие; здоровые, гнилые и табачные и т. д. На круглых лесоматериалах различаются открытый и заросший сучок, который может быть обнаружен по оставшемуся на поверхности вздутию разных видов. Сучки значительно снижают ценность древесины как материала и её сортность – в местах прорастания веток уменьшается прочность, так как сучок имеет собственную клеточную структуру, направленную под углом к окружающим волокнам. В процессе распиловки древесины и высыхания несросшиеся и частично сросшиеся сучки часто теряют связь с основой и выпадают (рис. 26).

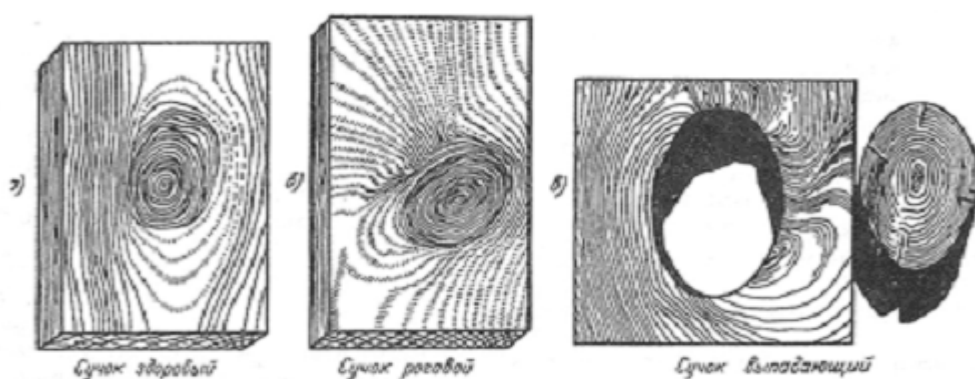


Рис. 26. Пороки древесины – сучки: а – сучок здоровый; б – сучок роговой; в – сучок выпадающий

Специфической разновидностью сучка является пасынок. Пасынок – сучок на месте крупного побега, конкурировавшего с главным стволом, отмершего или отставшего в росте. Может нарушать целостность пиломатериала, сильно снижает его прочность при растяжении и изгибе (рис. 27).

б) тангентальный (тангенциальный) наклон волокон (косослой) относительно оси элемента также является допустимым с ограничением пороком. Он образуется в результате природного винтообразного расположения волокон в стволе, а также при распиловке бревен в результате их сбега (рис. 28).



Рис. 27 Пороки древесины – пасынок.



Рис. 28. Пороки древесины – тангентальный наклон волокон (косослой)

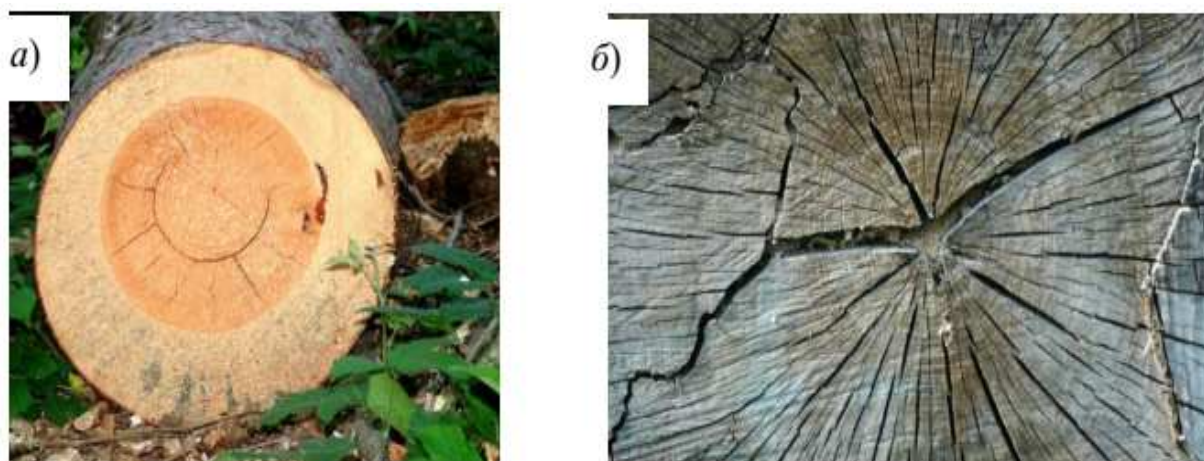


Рис. 29. Порок древесины – трещины: а – отлупная трещина, б – усушки.

г) сердцевина – узкая (около 5 мм) центральная часть ствола, состоящая из рыхлой ткани бурого или более светлого, чем окружающая древесина, цвета. Элементы с сердцевиной, особенно с двойной, легко растрескиваются. Имеются два отклонения положения сердцевины: двойная сердцевина, смещённая сердцевина (рис. 30, а).

д) кармашек (смоляной карман) – полость внутри или между годовых слоёв, заполненная смолой или камедью, характерен для ели. Вытекающее из кармашков содержимое портит поверхность изделий и препятствует их внешней отделке и склеиванию, пачкает инструменты. Различаются односторонний и сквозной смоляной карман (рис. 30, б).

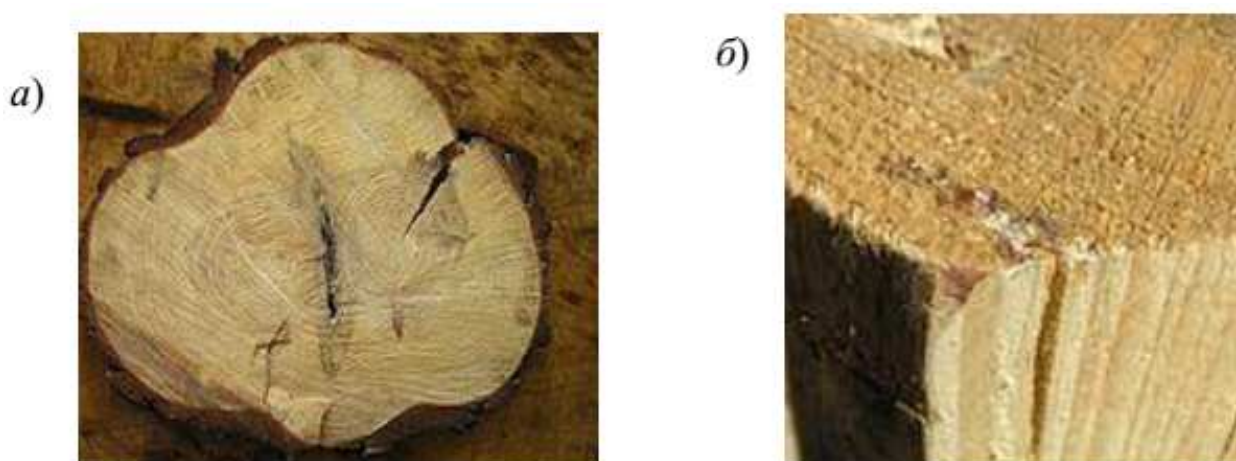


Рис. 30. Пороки древесины: а – двойная сердцевина, на поверхности видны риски, посередине прорость; б – смоляной карман.

г) крень – изменение строения в нижней зоне ствола и сучьев древесины хвойных пород в виде утолщения и потемнения годовичных слоёв поздней

древесины, свойственна искривлённым и наклонно стоящим стволам и всем сучьям, часто сопровождается смещением сердцевины (рис. 31). Повышает твёрдость и прочность древесины при сжатии и статическом изгибе, мешает механической обработке древесины, снижает ударную вязкость при изгибе и прочность при растяжении, резко увеличивает усушку вдоль волокон, что служит причиной растрескивания и продольного коробления, препятствует пропитке, ухудшает внешний вид. Различаются – местная крень, сплошная крень.



Рис. 31. Пороки древесины: крень.

ж) прорость – застающая или заросшая рана, сопровождающаяся продольной щелью, как правило, заполненная остатками коры и омертвевшими тканями. Может сопровождаться засмолком, изменением окраски и грибными поражениями (рис. 32, а, б).

к) сухобокость – омертвевший в процессе роста дерева участок ствола, возникший в результате повреждений (ушиб, заруб). Обычно лишена коры, углублена в ствол и окружена валиком нарастающей древесины и коры, может быть поражена грибами и гнилью (рис. 32, в).

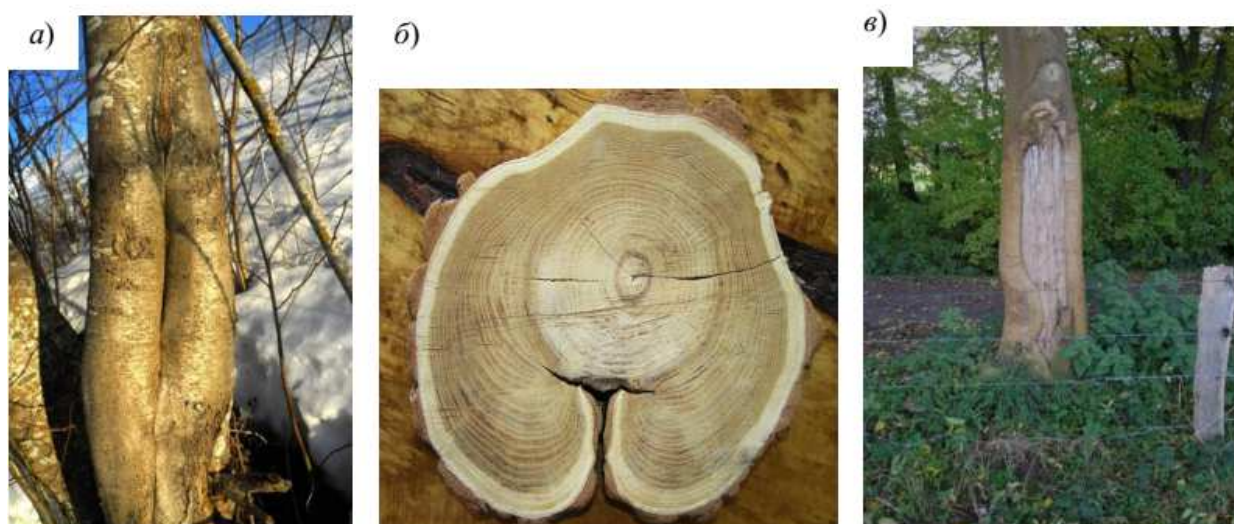


Рис. 32. Пороки древесины: а – открытая прорость снаружи, б – открытая прорость на торце лесоматериала, в – сухобокость.

л) рак – углубление или вздутие, образовавшееся в результате деятельности грибов или бактерий. На поражённом участке древесина не нарастает, но на противоположной стороне ствола ввиду усиленного прироста можно обнаружить характерную опухоль. У хвойных пород сопровождается смолотечением и сильным засмолением древесины. Различаются открытый рак, и закрытый рак, наблюдаемый снаружи как вздутие коры и древесины (рис. 33).



Рис. 33. Пороки древесины: а – открытый рак, б – закрытый рак на берёзе, в – закрытый рак со вздутием на стволе.

- пороки формы ствола выражаются в различных отклонениях от нормальной формы ствола и формируются в период роста дерева: сбежистость, закомелистость, наросты, кривизна, овальность (рис. 34).



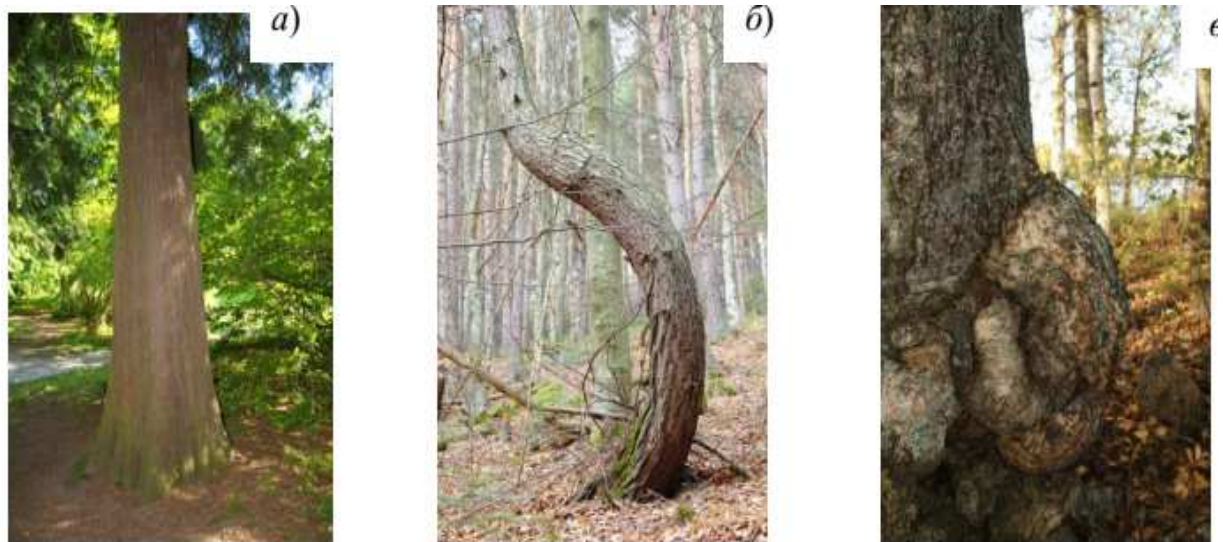


Рис. 34. Пороки древесины: а – сбежистость, б – кривизна, в – нарост

К порокам относятся также мягкая сердцевина и другие, менее распространенные нарушения однородности строения древесины.

#### 4.6. Сортамент строительных материалов из древесины

Лесоматериалы делятся на круглые и пиленые. Круглые получают из заготовленных, в лесу бревен, пиленые – распиловкой круглых материалов на лесопильных станках.

**Круглые** лесоматериалы по качеству делят на четыре сорта и бессортные (мелкие). Для рационального использования бревен в конструкциях их нередко применяют без обработки в «цилиндр», а со «сбегом» – уширением к корню (8 мм на 1000 мм длины); окантованные брусья с «обзолом», без полной опиловки.

**Пиломатериалы** изготавливают из хвойных и лиственных пород. В зависимости от сечений, получаемых от распиловок, различают следующие виды пиломатериалов (рис. 35):

а) по размерам поперечного сечения – **доски**, если ширина более двойной толщины, **бруски**, если ширина не более двойной толщины, и **брусья**, если толщина и ширина более 100 мм;

б) по характеру обработки: **обрезные**, если все четыре стороны пропилены, и **необрезные**, у которых пласти пропилены, а кромки частично или полностью не пропилены.

Стандартными длинами пиломатериалов считаются длины от 1 до 6,5 м с градацией 0,25 м.

Существует сортамент пиломатериалов, изготавливаемых промышленностью. По специальному заказу возможен выпуск пиломатериалов с отступлением от норм.

В промышленности пиломатериалы в зависимости от наличия и размеров пороков делят на сорта: для хвойных пород – четыре, для лиственных – три.

За последние годы в строительстве стали широко применять так называемую облагороженную древесину – древесные пластики, которые получают из продуктов переработки натуральной древесины, склеенных синтетическими смолами при высоких давлении и температуре.

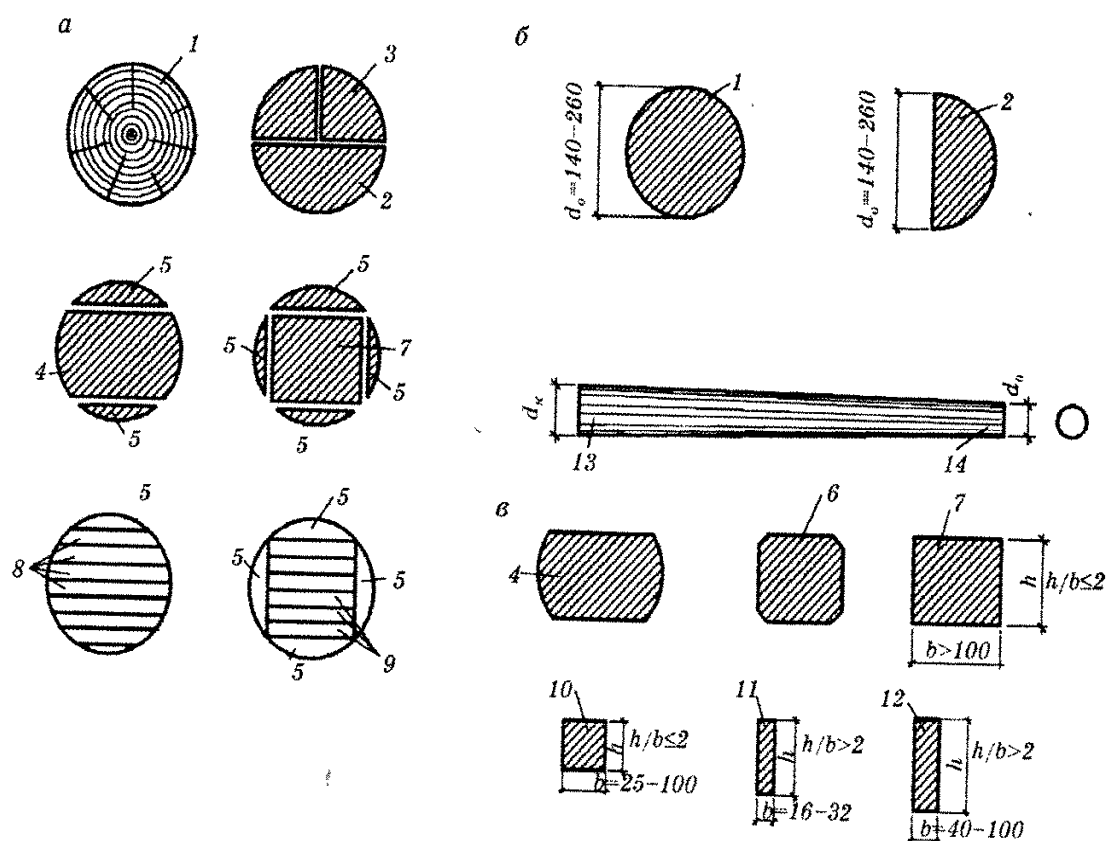


Рис. 35. Лесоматериалы:

а – общая характеристика; б – стандартные размеры бревен и пластин; в – наименование материалов по размерам сечения;

1 – бревно; 2 – пластина; 3 – четвертина; 4 – лежень; 5 – горбыль; 6 – полуобрезной брус; 7 – четырехконтный брус; 8 – необрезные доски; 9 – обрезные доски; 10 – брусок; 11 – тонкая доска; 12 – толстая доска; 13 – комель; 14 – верхний отруб.

Виды древесных пластиков:

а) **фанера** – состоит из нечетного количества склеенных взаимно перпендикулярных слоев древесного лущеного шпона толщиной 0,5-1,5 мм; последний изготавливают из разных пород древесины, но лучше – из березы. Наружные слои шпона в фанере, называемые «рубашками», имеют одинаковое направление волокон древесины и изготавливаются из более качественного шпона, чем внутренние слои, называемые «серединками». Продольным направлением фанеры считается направление волокон в «рубашках».

По СП 64.13330.2017, для клееных деревянных конструкций следует применять фанеру ФСФ и бакелизованную фанеру ФБС, у которой все слои пропитаны водостойкими смолами. Фанеру выпускают в листах размерами до 2440×1525 мм и толщиной 1,5-12 мм, причем наиболее широко в конструкциях применяют пяти- семислойную фанеру;

б) **древесно-волокнистые плиты ДВП** толщиной 3-6 мм, изготавливаемые из связующего и растертой до волокнистого состояния древесной массы;

в) **древесно-стружечные плиты ДСП** толщиной 6-32 мм, изготавливаемые способом горячего прессования под давлением пропитанных смолами мелких древесных стружек. Эти плиты требуют обязательного антисептирования. Применяют их преимущественно для перегородок и обшивок;

г) **ориентированно-стружечные плиты ОСП**, применяемые в самое последнее время, образованные прессованием прямоугольных плоских щепов, пропитанных водостойкими смолами и парафином, в условиях высокого давления и температуры. В наружных слоях полосы щепов располагаются в основном параллельно длине плиты;

д) **древесно-слоистый пластик**, получаемый при полной пропитке шпона смолой с последующим горячим прессованием. Это самый прочный из всех древесных пластиков, но из-за дороговизны его применяют лишь для

небольших ответственных деталей (шпонок, нагелей, косынок и др.).

Особую категорию составляет клееная древесина:

а) **клееная деревянные конструкции** - это пакет деревянных деталей (обычно это доски) с определенным взаиморасположением связанных клеевой прослойкой .

б) **CLT-панели** (многослойные клеёные деревянные панели) или **ДПК** (Древесина перекрестно клееная) ГОСТ Р 56706-2015– многослойный материал, состоящий из деревянных ламелей, сложенных в ряды. Изделия склеиваются между собой и спрессовываются. Ряды располагаются крест-накрест относительно друг друга. Вертикальные ламели обеспечивают высокую несущую способность, а горизонтальные — жесткость в продольной плоскости.

в) **ЛВЛ-брус**, брус LVL, брус из клеёного шпона ГОСТ 33124-2014. Тех условия.— конструкционный материал, изготовленный по технологии склейки нескольких слоёв лущёного шпона хвойных пород (сосна, ель, лиственница) толщиной порядка 3 мм. Является одним из типов клеёных деревянных конструкций. Волокна древесины смежных слоёв располагаются всегда параллельно длине заготовки, что отличает ЛВЛ от фанеры. Укладка этих шпонов в цельную плиту, называемую заготовкой, создает единый кусок LVL с общим направлением волокон древесины. Выпускается в виде брусьев (балок) и плит широкого размерного ряда. Легко обрабатывается и в процессе производства, и на строительной площадке.

## 5. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Деревянные конструкции подразделяют (классифицируют) по следующим основным признакам:

- функциональное назначение;
- условия эксплуатации;
- срок службы.

По функциональному назначению деревянные конструкции подразделяют на классы с учетом уровня ответственности зданий и сооружений согласно ГОСТ 27751 и вида и пролета конструкций.

Характеристики классов функционального назначения приведены в таблице 1.

Для различных элементов зданий применяют различные классы функционального назначения.

Таблица 1

Обозначение класса функционального назначения		Общая характеристика класса
1	1a	Несущие конструкции с пролетами более 100 м; мачты и башни высотой более 60 м
	1б	Несущие конструкции для зданий музеев, спортивно-зрелищных объектов и торговых предприятий с массовым пребыванием людей, а также сооружений с пролетами более 60 м для конструкций из КДК и 40 м - из цельной древесины и древесных материалов; мачт и башен высотой более 40 м
2	2a	Несущие конструкции любых форм, не вошедшие в классы 1a, 1б, 2б и 3
	2б	Конструкции стен зданий и сооружений различного назначения, не вошедшие в 3-й класс Конструкции покрытий и перекрытий пролетами не более 7,5 м
3		Конструкции теплиц, парников, мобильных зданий (сборно-разборные и контейнерного типа); складов временного содержания; бытовок вахтового персонала и других подобных сооружений с ограниченными сроками службы и пребывания в них людей
<p>Примечания</p> <p>1 Объекты с высоким уровнем ответственности, при проектировании и строительстве которых используют принципиально новые конструктивные решения, не прошедшие проверку в практике строительства и эксплуатации, должны быть отнесены к классу функционального назначения 1a.</p> <p>2 Для сооружений 1-го класса, при проектировании которых использованы неапробированные ранее или неосвоенные производством конструктивные решения или для которых не существует надежных методов расчета, необходимо использовать данные экспериментальных исследований на моделях или натуральных конструкциях.</p>		

В зависимости от условий эксплуатации конструкции относят к классам эксплуатации, учитывающим эксплуатационные параметры относительной влажности, температуры воздуха в зоне расположения конструкций, характерные условия эксплуатации (в закрытых или открытых условиях).

Определяющим параметром является эксплуатационная влажность древесины (таблица 2), которую условно можно принять равной равновесной влажности древесины.

Таблица 2

Класс условий эксплуатации		Эксплуатационная влажность древесины, %	Максимальная относительная влажность воздуха при температуре 20°C, %
1 (сухой)	1а	Не более 8	40
	1б	Не более 10	50
2 (нормальный)		Не более 12	65
3 (влажный)		Не более 15	75
4 (мокрый)	4а	Не более 20	85
	4б	Более 20	Более 85
Примечания			
1 Допускается в качестве "эксплуатационной" принимать "равновесную" влажность древесины.			
2 Допускается кратковременное превышение максимальной влажности в течение 2-3 нед. в году.			

Учет классов условий эксплуатации осуществляют для назначения коэффициентов условия работы к расчетным сопротивлениям древесины, выбора типа клеев и защитных материалов при проектировании конструкций, а также для выбора системы контроля качества при изготовлении конструкций.

Примеры учета классов условий эксплуатации при проектировании и изготовлении конструкций приведены в таблице 3.

Таблица 3

Класс условий эксплуатации		Дополнительная характеристика условий эксплуатации конструкций	Особенность учета классов при расчете конструкций	Примечания	
Основной класс	Подкласс				
1	1a	-	Эксплуатационная влажность древесины не превышает 12%	Применение КДК не допускается	
	1б	-			
2	2.1	При нормальном режиме помещений			
	2.2	В неотапливаемых помещениях, под навесом и на открытом воздухе в сухой зоне влажности			
3	3.1	При влажном режиме отапливаемых помещений	Эксплуатационная влажность древесины не превышает 15%		
	3.2	В неотапливаемых помещениях, под навесом и на открытом воздухе в нормальной зоне влажности			
4	4a	4a.1	Эксплуатационная влажность древесины не превышает 20%		
		4a.2			При искусственных тепловыделениях в неотапливаемых помещениях
		4a.3			В неотапливаемых помещениях, под навесом и на открытом воздухе во влажной зоне влажности
	4б	4б.1	При контакте с грунтом	Эксплуатационная влажность древесины может превышать 20%	
		4б.2	В воде		

Необходимые меры по обеспечению долговечности конструкций зданий и сооружений с учетом конкретных условий эксплуатации проектируемых объектов, а также расчетные сроки их службы должен определять генеральный

проектировщик по согласованию с заказчиком. Примерные сроки службы сооружений приведены в таблице 4.

Таблица 4

Наименования объектов	Примерный срок службы, лет
Временные здания и сооружения (бытовки строительных рабочих и вахтового персонала, склады временные, летние павильоны и т.п.)	Не более 10
Сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред (сосуды и резервуары, трубопроводы предприятий нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности, сооружения в условиях морской среды и т.п.)	Не менее 25
Здания и сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства)	Не менее 50
Уникальные здания и сооружения (здания основных музеев, хранилищ национальных и культурных ценностей, произведения монументального искусства, стадионы, театры, здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т.п.)	100 и более

## 6. СТРУКТУРА И СОСТАВ ДРЕВЕСИНЫ. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

### 6.1. Структура и состав

Микроскопическое строение древесины для всех пород характеризуется большим числом разнообразной формы клеток, окруженных оболочками, отделяющими их от смежных клеток. В состав оболочки входит целлюлоза – органическое вещество, состоящее из углерода, водорода и небольшого количества азота. С ростом клеток оболочка пропитывается лигнином, в состав которого входят те же органические вещества с несколько большим количеством углерода. Процесс пропитки оболочки носит название «одревеснение», при этом оболочки приобретают большую прочность при сжатии, твердость и жесткость.

В древесине хвойных пород основным элементом являются трахеиды, которые занимают до 95 % общего объема ствола. Трахеиды представляют собой пустотелые клетки, проводящие воду от корней к кроне и придающие древесине механическую прочность, которая также зависит и от склеивающего межклеточного вещества, состоящего главным образом из лигнина.



## 6.2. Влажность

Влажность в древесине может быть трех видов: свободная, связанная (гигроскопическая) и химическая. Удаление свободной влаги (заполняющей внутренние пустоты) изменяет плотность древесины, удаление связанной влаги (пропитывающей оболочку клеток) влечет за собой не только изменение плотности, но и прочности, размеров и формы, удаление химической влаги, входящей в состав древесины, ведет к изменению вещества.

В свежесрубленной древесине, влажность которой достигает 80% и более, при высыхании в атмосферных условиях сначала происходит быстрое удаление с поверхности свободной влаги, а затем и части связанной с одновременным перемещением ее из внутренних слоев к наружным. Такой процесс приводит постепенно к равномерному распределению влажности в древесине, которая будет соответствовать температуре и влажности окружающего воздуха. Такая влажность древесины называется равновесной (устойчивой). В зависимости от условий эксплуатации, вида и назначения конструкции влажность древесины для изготовления защищенных от непосредственного увлажнения деревянных конструкций не должна превышать 15-25 %.

При применении в строительстве древесины с влажностью выше равновесной необходимо учитывать значительную разность усушки древесины вдоль и поперек волокон и придавать элементам припуск на усушку.

Процесс набухания древесины представляет собой явление, почти обратное усушке, которое проявляется при поглощении древесиной влаги, пропитывающей оболочку клеток, и сопровождается нарастанием ее линейных размеров и объема.

В результате усушки или разбухания происходит изменение линейных размеров деревянных элементов: вдоль волокон на 0,1-0,3%, в радиальном направлении на 3-6% , в тангенциальном на 6-12%. Следствием такой неравномерной усушки является коробление досок и образование радиально-продольных трещин в бревнах и брусках при их высыхании.

### 6.3. Плотность

Поверхностная плотность древесного вещества постоянна для всех пород, но содержание древесного вещества в единице объема различно даже в пределах одной и той же породы. При одинаковой влажности древесина с большей плотностью обладает и большей прочностью.

Плотность зависит в большей степени от содержания влаги, поэтому сравнивать плотности древесины разных пород следует при влажности, равной 12 %. При расчете конструкций плотность древесины следует принимать по табл. 5.

Таблица 5

Порода древесины	Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup> , в конструкциях для условий эксплуатации таблице 3	
	1 и 2	3 и 4
<b>Хвойные:</b>		
лиственница	650	800
сосна, ель, кедр, пихта	500	600
<b>Твердые лиственные:</b>		
дуб, береза, бук, ясень, клен, граб, акация, вяз и ильм	700	800
<b>Мягкие лиственные:</b>		
осина, тополь, ольха, липа	500	600

**Примечание.** Плотность свежесрубленной древесины хвойных и мягких лиственных пород следует принимать равной 850 кг/м<sup>3</sup>, твердых лиственных пород – 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность клееной древесины следует принимать как неклееной.

## **7. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

### **7.1. Влияние анизотропии. Длительное сопротивление древесины**

Для древесины характерно неодинаковое сопротивление действию усилий в различных направлениях по отношению к волокнам. Такое свойство материала носит название анизотропии. Наибольший предел прочности древесины достигается при действии усилия вдоль волокон, наименьший – поперек волокон. При действии силы под углом к волокнам сопротивление древесины имеет промежуточное значение.

Установлено, что предел прочности древесины уменьшается с увеличением продолжительности действия нагрузки, поэтому показатели прочности древесины, полученные в результате кратковременных испытаний, являются завышенными и не характеризуют действительную работу древесины.

Длительное действие постоянной нагрузки снижает предел прочности до определенной величины, называемой пределом длительного сопротивления древесины. При напряжении, не превышающем по величине предела длительного сопротивления, древесина не разрушится, как бы долго ни действовала нагрузка. При длительном действии нагрузки деформации растут с течением времени, но если напряжения в древесине меньше предела длительного сопротивления, то их рост прекращается. Рост деформаций в течение некоторого времени после приложения постоянной называют последствием, которым объясняется провисание деревянных конструкций, находящихся долгое время под нагрузкой.

Коэффициент длительности определяют экспериментально по результатам испытания образцов древесины на длительное действие постоянной нагрузки. Коэффициент длительности определяют отношением предела длительного сопротивления к пределу кратковременного сопротивления. Эта величина зависит от породы древесины и других факторов и равна 0,5-0,6.

## 7.2. Влияние пороков древесины

Качество лесоматериалов определяется, в основном, степенью однородности древесины, от которой зависит ее прочность. Степень однородности определяется размерами и количеством участков, где однородность древесины нарушена и прочность снижена. Такие участки называются пороками древесины. Наиболее распространенными и неизбежными пороками являются сучки, косослой и усушечные трещины. Особенно снижают предел прочности сучки, выходящие на кромки растянутых элементов. В этом случае, кроме ослабления сечения, возникают дополнительные напряжения от действия изгибающего момента вследствие внецентренного приложения растягивающего усилия.

Влияние пороков древесины в изгибаемых и сжатых элементах сказывается в меньшей степени, чем в растянутых. При условии, что пороки древесины не превосходят величин, указанных в нормах, коэффициент снижения при переходе от нормативных величин сопротивлений, полученных для чистых образцов, к расчетным величинам для центрально-растянутых элементов принимается 0,27, для изгибаемых элементов из пиломатериалов – 0,45-0,5, а из бревен 0,6-0,8. В центрально-сжатых элементах влияние пороков оказывается меньше, и поэтому оно учитывается коэффициентом 0,6-0,7.

## 7.3. Влияние влажности

Степень влажности значительно влияет на качество деревянных конструкций и строго ограничивается в зависимости от условий их изготовления и эксплуатации.

В процессе уменьшения или увеличения влажности до 30% за счет гигроскопической влаги в оболочках клеток размеры деревянных элементов уменьшаются или увеличиваются. Происходит усушка или разбухание, которые тем больше, чем больше плотность древесины. Наибольшие усушка и разбухание происходят поперек волокон, перпендикулярно годичным слоям, и достигают 4 % , а в тангенциальном направлении – параллельно годичным слоям – 10%. Наименьшие усушка и разбухание, не превосходящие 0,3%,

происходят вдоль волокон. При дальнейшем увеличении влажности сверх 30% за счет свободной влаги усушка и разбухание не происходят.

Высыхание деревянного элемента и развитие деформаций усушки происходят неравномерно от поверхности к центру. Это, а также разница величин радиальной и тангенциальной усушки приводят к возникновению значительных деформаций растяжения в наружных и сжатия во внутренних частях элемента поперек волокон и в результате к короблению и растрескиванию древесины (рис. 36).

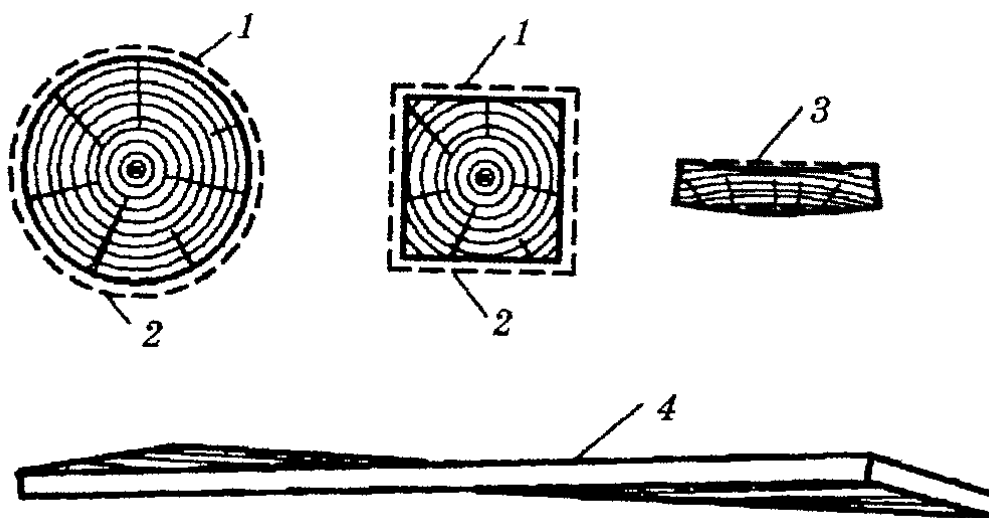


Рис. 36. Деформации лесоматериалов при усушке:  
1 – уменьшение размеров сечений; 2 – растрескивание; 3 – поперечное коробление;  
4 – продольное коробление

Изменение влажности в пределах от 0 до 30% существенно влияет на прочность и жесткость древесины. При увеличении влажности в этих пределах прочность древесины снижается до 30% от максимальной. Дальнейшее увеличение влажности не приводит к снижению прочности древесины.

#### 7.4. Влияние температуры

При повышении температуры предел прочности и модуль упругости снижается и повышается хрупкость древесины. Опытами установлено, что при изменении температуры от 20 до 50°C прочность древесины на сжатие уменьшается на 20-40%, на растяжение – на 12-15% и на скалывание – на 15-20%. Повышение температуры в тех же пределах приводит к снижению модуля

упругости, полученного при влажности 15%, в 2,5 раза и при 30% – в 2,75 раза. Поэтому применять деревянные конструкции в зданиях с длительно действующей температурой свыше 50°С нельзя.

При отрицательных температурах влага в древесине превращается в лед, и прочность ее на сжатие возрастает, но она становится более хрупкой, и в ней развиваются трещины.

Коэффициент линейного расширения древесины вдоль волокон очень мал и не превышает  $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ , что позволяет строить деревянные дома без температурных швов.

Малая теплопроводность делает древесину эффективным материалом для легких ограждающих конструкций зданий.

## **8. ЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ГНИЕНИЯ**

### **8.1. Краткие сведения о гниении древесины**

Гниение является результатом жизнедеятельности микроорганизмов, так называемых древоразрушающих грибов. Грибы делят на три группы: лесные, складские и домовые. Для строительных конструкций наиболее опасными являются последние две группы. Заражение древесины возможно при любых условиях и повсеместно. Но развитие процесса гниения начинается в древесине с влагосодержанием выше 20% при свободном доступе воздуха и температуре 5-45°С. При отсутствии хотя бы одного из этих факторов развитие гниения невозможно. Основным мероприятием по защите дерева от гниения является сушка лесоматериала и предохранение его от всевозможных видов увлажнения.

Существуют два вида увлажнения – непосредственное и конденсационное. Атмосферные осадки, увлажнение грунтовыми водами, высокая влажность эксплуатируемого здания, неисправности сантехнического оборудования и др. относятся к источникам непосредственного увлажнения. В замкнутых, темных, плохо проветриваемых местах происходит выделение влаги в процессе жизнедеятельности домовых грибов. Однажды начавшись, процесс гниения может бурно развиваться без поступления дополнительной

влаги извне, вследствие биологического увлажнения. При этом древесина окрашивается в бурый цвет, покрывается трещинами и распадается на кусочки, теряя свою прочность.

Конденсационное увлажнение является самым опасным. В зависимости от температурных колебаний процесс конденсации может проходить систематически или периодически. Систематическая конденсация наблюдается в ограждающих конструкциях отапливаемых зданий, наиболее интенсивное образование происходит в период максимальных температурных перепадов – осенью и зимой.

Периодическая конденсация возникает при кратковременном периодическом колебании температуры. В строительных конструкциях влага может конденсироваться в местах соприкосновения дерева со сталью (стальные башмаки опор), а также в местах примыкания дерева к материалам большей теплопроводности, например, при опирании концов деревянных конструкций на железобетонные, кирпичные, каменные опоры и т.п. Если создать осушающий эксплуатационный режим подогревом воздуха, то это приводит к удалению влаги из окружающей среды и устраняет возможность конденсационного увлажнения конструкций.

## **8.2. Конструктивные меры защиты древесины от гниения**

Основными конструктивными мерами против гниения древесины являются: применение здорового и сухого леса, правильное расположение тепло-, водо- и пароизоляционных материалов, отвод атмосферных вод, устройство продухов для вентиляции и т.п. В деревянных покрытиях зданий не следует устраивать внутренних водостоков, фонарей и ендов. Несущие конструкции из дерева следует располагать внутри или вне теплых ограждающих конструкций. Все элементы несущих конструкций и конструкций крыш (особенно утепленных) должны быть доступны для осмотра во всех частях и хорошо проветриваться. Деревянные конструкции должны опираться на фундаменты выше уровней пола и грунта. Защита древесины от увлажнения парами воздуха достигается тем, что в помещениях с влажностью

более 75% и выделением водяных паров поверхность ее изолируется водостойкими лакокрасочными материалами.

Образование конденсата в наружных многослойных стенах и бесчердачных покрытиях в значительной степени зависит от порядка расположения в толще ограждения паро- и теплоизоляционных слоев. Обычно слой гидроизоляции должен быть расположен в начале теплового потока, т.е. со стороны преобладания положительных температур. Теплоизолирующий слой нужно располагать с холодной стороны ограждения.

В случае, если пароизоляция должна быть расположена в конце теплового потока (в многослойных бесчердачных конструкциях кровельных покрытий с гидроизоляционным ковром), под кровельным материалом необходимо устройство осушающих продухов.

Для защиты деревянных конструкций от периодической конденсации следует избегать глухой заделки опорных узлов ферм в каменные или бетонные стены; их надо устанавливать в открытые гнезда. При устройстве стальных опорных узлов или соприкосании дерева с полосовыми стальными элементами между деревом и сталью необходимо прокладывать слой пароизоляции, а заделываемую в металлический башмак древесину надежно антисептировать.

В случае опирания деревянных элементов на каменные или бетонные опоры необходимо устройство креозотированных прокладок на слое пароизоляции.



### 8.3. Химические меры защиты древесины от гниения

Химическая защита древесины необходима в случаях, когда ее увлажнение в процессе эксплуатации неизбежно. Эта защита носит название антисептической обработки или антисептирования. Антисептиками являются вещества, отличающиеся наибольшей токсичностью по отношению к дереворазрушающим грибам, длительное время сохраняющие эти свойства и по возможности глубоко проникающие в толщу древесины.

Антисептики разделяются на две основные группы: водорастворимые (неорганические) и маслянистые (органические). Требования, предъявляемые к антисептикам, заключаются в безопасности для людей и животных, сохранении механической прочности материала древесины, свойствах не увеличивать гигроскопичность, электропроводность и не разрушать металлические части конструкции.

В зависимости от производственных условий, требований, предъявляемых к продолжительности срока службы, размеров обрабатываемых элементов назначаются способы антисептирования. В практике строительства наибольшее распространение нашли следующие способы: нанесение раствора на поверхность деревянных элементов краскопультом или кистями, пропитка в горячих, холодных и высокотемпературных горяче-холодных ваннах, пропитка в автоклавах под давлением.

## 9. ЗАЩИТА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ВОЗГОРАНИЯ

Сделать древесину негорючей в современных условиях возможно, но неэкономично, поэтому в строительстве ограничиваются требованием обеспечить замедленное возгорание и горение. Поскольку для горения древесины необходим приток большого количества кислорода, то основными мероприятиями огнезащиты являются или уменьшение притока кислорода, или уменьшение выделения горючего газа из древесины, который, соединяясь с кислородом, дает пламя.

Возгорание древесины возможно при наличии огня при температуре выше  $250^{\circ}\text{C}$ , при длительном воздействии температуры выше  $160^{\circ}\text{C}$  (например, у печей) и при самовоспламенении при температуре выше  $400^{\circ}\text{C}$ . На быстроту разрушения конструкций влияет и нагрузка на нее при горении, так как при высокой температуре снижается прочность внутренней части древесины. Замедление возгорания древесины достигается конструктивными и химическими мерами защиты.

В качестве конструктивных мер рекомендуется тщательная острожка, уничтожение выступов, пустот и т.п.; круглый лес загорается медленнее, чем брусчатый; массивные конструкции, особенно клееные, загораются труднее. При проектировании зданий и сооружений с применением дерева и других горючих материалов следует предусматривать устройство брандмауэров, огнезащитных зон, нормированных разрывов между зданиями, автоматически действующих систем пожаротушения, а также надежных теплоизоляционных разделов вокруг печей и дымовых труб. Значительный эффект в качестве защитного ограждения дает известковая штукатурка, благодаря происходящему в ней эндотермическому процессу обжига, сопровождающегося большим поглощением тепла.

Если одних конструктивных мер недостаточно, применяют химические средства защиты. В качестве защитных веществ применяются антипирены, затрудняющие горение и возгорание. Наилучший эффект дает глубокая пропитка древесины аммонийными солями (фосфорнокислыми, сернокислыми,

хлористым аммонием и т.п.). Эти соли при нагревании вступают в реакцию с горючими газами, выделяемыми из древесины. Антипирены легко вымываются водой, поэтому их применяют для элементов, защищенных от непосредственного воздействия воды и находящихся в помещениях с относительной влажностью менее 75%. Пропитывают древесину антипиренами в горячехолодных ваннах, в автоклавах под давлением и обмазкой.

Более простым, но менее эффективным средством огнезащиты деревянных элементов является поверхностная 2–3-кратная обработка водорастворимыми огнезащитными растворами или окраска огнезащитными силикатными, кремнийорганическими, хлорвиниловыми и другими специальными красками, а также обмазка огнезащитными составами глиняными, глиноизвестковыми и др.

## 10. УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Главным критерием необходимости усиления является недостаточный запас несущей способности строительных конструкций. То есть, когда конструкции теряют часть своей прочности, жесткости, устойчивости и в ближайшем будущем появляется риск их не нормативного использования или внезапного обрушения.

Причины, по которым несущая способность бывает недостаточна:

- из-за физического износа конструкций;
- из-за полученных конструкциями в процессе эксплуатации повреждений, дефектов;
- по причине увеличения нормативных нагрузок, при проведении капитального ремонта или реконструкции;
- при нарушении условий эксплуатации конструкций зданий или сооружений.

Усиление строительных конструкций – комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение несущей способности и эксплуатационных свойств строительной конструкции или здания и сооружения в целом по сравнению с фактическим состоянием или проектными показателями.

Виды усиления строительных конструкций можно отнести к активным, направленных на увеличение несущей способности элементов:

1) Повышать собственную несущую способность можно, как без изменения расчетной схемы, увеличением сечения конструкции, так и изменяя ее, устанавливая дополнительные опоры, превращая разрезные конструкции в неразрезные, перемещая места приложения нагрузок.

2) Усиление с изменением напряженного состояния конструкций.

Усиление производится с помощью предварительно напряженных распорок для сжатых элементов и предварительно напряженных затяжек для растянутых элементов.

А также существуют пассивные методы направленные на разгрузку конструкции.

### 3) Устройство разгружающих и заменяющих конструкций.

Обычно устраивают ряд новых конструкций, которые воспринимают нагрузку полностью или частично, приходящуюся на усиливаемую конструкцию.

4) Снижение веса постоянных нагрузок, путем замены утеплителя на энергоэффективный с меньшим значением объемного веса, и т.д.

Традиционные способы усиления за счет увеличения сечения конструкции, путем присоединения к ним дополнительных элементов, использование затяжек и создание предварительного напряжения с применением шпренгельных систем, а также присоединение стальных пластин в зонах растягивающих напряжений характеризуется рядом существенных недостатков – большой вес конструкций усиления, трудоемкость устройства, невозможность в ряде случаев усиления сложных поверхностей.

Усиление строительных конструкций можно осуществлять с использованием композитных материалов – многослойных структур, образованные комбинацией армирующих элементов (углеродные, арамидные, полиэфирные и стеклянные волокна) и связующего (матрицы). При выполнении усиления деревянных конструкций элемент усиления в виде композитного материала используется в качестве элемента внешнего армирования.

Безусловными преимуществами композитных материалов являются высокая прочность и модуль упругости, малый вес, легкость повторения любых форм конструкции, стойкость к агрессивным воздействиям, технологичность, меньшая трудоемкость устройства на строительной площадке.

Для усиления строительных конструкций композитные материалы применяются в виде ламинатов (полос материала определенной длины, ширины и толщины) и холстов различного сплетения. Все материалы выпускаются на основе углеродных, арамидных и стекловолоконных нитей (фибр). Схема данной системы усиления приведена на рисунке 37.

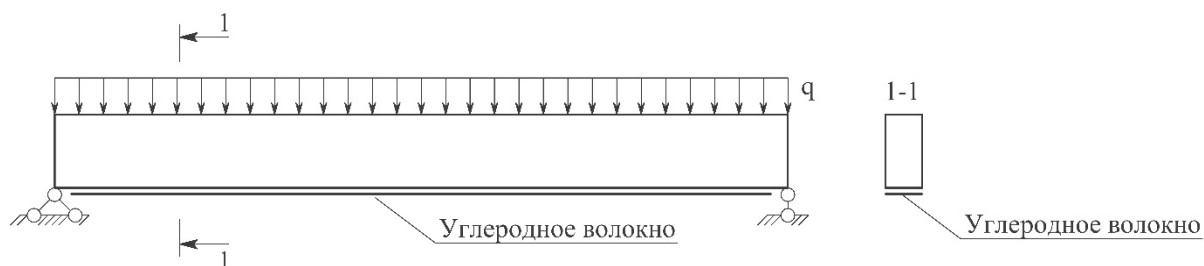


Рис. 37. Схема усиления деревянного изгибаемого элемента углеволокном на действие нормальных напряжений

Композит, применяемый в качестве элемента внешнего армирования, наносится преимущественно на нижнюю кромку элемента, в зону растягивающих напряжений, или локально, в местах повреждений. Сцепление композита с поверхностью деревянных конструкций осуществляется при помощи эпоксидного клея, при этом поверхность конструкции должна быть сухой, очищенной от смазки, масла и т.д. Покрываемая поверхность должна быть ровной, неровности не должны превышать 0,5 мм. Это может быть достигнуто путем обтесывания или шлифования поверхности. После очистки необходимо удалить всю пыль с помощью промышленного пылесоса.

Повышение эффективности применения элементов внешнего армирования осуществляется их предварительным натяжением. Натяжение производится гидродомкратами с использованием специальных захватов и анкерных устройств. При натяжении элементов внешнего армирования из углеродного волокна с его последующим закреплением на конструкции достигается не только повышением несущей способности, но также повышением жесткости усиливаемого элемента.

Эффективность применения композитных материалов в качестве элемента внешнего армирования при усилении деревянных конструкций было подтверждено в исследованиях [11-15].

## Практическое занятие №1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ И НАХОЖДЕНИЕ НОРМАТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Содержание упражнения.

а) используя данные проведенных механических испытаний «чистых» образцов древесины на сжатие/изгиб/скалывание произвести статистическую обработку результатов.

б) используя методику в пособии определить нормативное сопротивление древесины

Исходные данные:

Данные лабораторных испытаний.

Выполнить статистическую обработку результатов согласно пособию [7;8].

Определить нормативное сопротивление древесины используя методику в пособии [2].

*Пример выполнения упражнения:*

Данные полученные после испытаний:

<i>N образца</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Предел прочности, <math>\sigma_{12}</math>, МПа</i>	38,7	34,8	31,9	34,3	36,2	32,0	32,5	34,4	35,1	35,5

Проводим статистическую обработку данных по пособию [7;8].

В результате статистической обработки получены следующие данные:

Вид напряженного состояния	Среднее значение временного предела прочности $R^{впч}$ , МПа	Коэффициент вариации $V$ , %	Показатель точности $\Delta$ , %
Сжатие	37,4	6,7	4,8
Изгиб	55,5	5,6	4,0

Нормативное сопротивление «чистой» рассчитывается по формуле 8 [2]:

$$R_q^H = R_q^{впч} (1 - 1,645V_H),$$

где  $R_q^{впч}$  – среднее значение временного предела прочности образцов из «чистой» древесины;

1,645 – коэффициент, принимаемый по таблице (квантиль Стьюдента) при нормальном законе распределения результатов испытаний с обеспеченностью 0,95 для нормативного сопротивления.

$V_n$  – коэффициент изменчивости или вариационный коэффициент (нормативное значение - при сжатии равно 13%, при изгибе -15%).  
*Устанавливаем 13%, а не 6,7 % «в запас».*

$$R_{c,ч}^H = 37,4 \cdot (1 - 1,645 \cdot 0,13) = 31,7 \text{ МПа}$$

$$R_{u,ч}^H = 55,5 \cdot (1 - 1,645 \cdot 0,15) = 41,8 \text{ МПа}$$

Переход от нормативных сопротивлений «чистой» (без пороков) древесины к нормативным сопротивлениям натуральной древесины выполняется по формуле 7 [2]:

$$R_{nc} = R_{nc,ч} \cdot \text{Кодн} = 31,7 \cdot 0,697 = 22,09 \text{ МПа},$$

$$R_{nu} = R_{nu,ч} \cdot \text{Кодн} = 41,8 \cdot 0,474 = 19,81 \text{ МПа},$$

где Кодн - переходной коэффициент, учитывающий влияние пороков и размеров рабочего сечения на прочность древесины. В приведенных расчетах значение коэффициентов Кодн определено по таблице прил. В.2 [1] для II сорта.

Расчётное сопротивление древесины (на сжатие, изгиб) определяется по формуле 8 [2]:

$$R_{pc} = (R_{nc} / \gamma_m) = (18,96 / 1,13) = 16,78 \text{ МПа};$$

$$R_{pi} = (R_{ni} / \gamma_m) = (19,81 / 1,16) = 17,07 \text{ МПа};$$

где  $\gamma_m$  - коэффициент надёжности по материалу, учитывающий переход от обеспеченности 0,95 для нормативного сопротивления к обеспеченности 0,99 для расчетного сопротивления, по формуле 6 [2]:

$$\gamma_m = (1 - 1,645 \cdot V) / (1 - 2,33 \cdot V)$$

2,33 – коэффициент, принимаемый по таблице (квантиль Стьюдента) при нормальном законе распределения результатов испытаний с обеспеченностью 0,99.

$$\text{Для сжатия } \gamma_m = (1 - 1,645 \cdot 0,13) / (1 - 2,33 \cdot 0,13) = 1,13.$$

$$\text{Для изгиба } \gamma_m = (1 - 1,645 \cdot 0,15) / (1 - 2,33 \cdot 0,15) = 1,16.$$

Полученные значения расчетных сопротивлений действительны для пиломатериалов толщиной до 100мм.



## Практическое занятие №2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Содержание упражнения:

А) Определить расчетное сопротивление цельной древесины при следующих исходных данных:

- вид напряженного состояния и размеры, сорт ;
- режим работы конструкции;
- порода древесины;
- температурно-влажностные условия эксплуатации древесины;
- срок службы конструкции.

Б) Определить расчетное сопротивление клееной древесины при следующих исходных данных:

- вид напряженного состояния и размеры;
- режим работы конструкции;
- порода древесины;
- температурно-влажностные условия эксплуатации древесины;
- толщина склеиваемого слоя (толщина доски);
- высота конструкции;
- радиус изгиба для гнутых конструкций;
- срок службы конструкции.

Выполнить решение по формуле 1 п.6.1 [1] с нахождением коэффициентов по табл 3-5; 9-13.

При необходимости использовать пособие В.Г. Миронов и др. «Практическое применение, действующих норм при проектировании деревянных конструкций .....»[6]

*Пример выполнения упражнения:*

а) вид напряженного состояния и размеры – сжатый элемент, 100x100;  
 режим работы конструкции – постоянная и снеговая нагрузка;  
 порода древесины – сосна;  
 температурно-влажностные условия эксплуатации древесины– 2 класс, T=20°C;  
 срок службы конструкции – 75 лет.

Расчетное сопротивление древесины сосны 2<sup>Г0</sup> сорта изгибу  $R_u$  определяется:

$$R_u = R_{и}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{т} \cdot m_{сс} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 11,6 \text{ МПа}$$

### **Практическое занятие №3**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ**

Содержание упражнения:

- а) найти влажность образца древесины с помощью электрических приборов, произвести статистическую обработку результатов;
- б) найти влажность древесины, используя свойство равновесной влажности, сравнить результаты.

Использовать учебное пособие [9].

**ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «ОСК ДК»**

Что относится к предельным состояниям первой группы?

Что такое предельные состояния для здания?

Что относится к предельным состояниям второй группы?

Суть расчета по предельным состояниям?

Нормативное сопротивление материала?

Какой основной тип деревянные конструкции в прошлом?

Какие виды зданий и сооружений строились в России из древесины?

Назовите известные архитектурные ансамбли деревянного зодчества.

Назовите известных инженеров в области деревянных конструкций?

Достоинства и Недостатки древесины?

Макростроение древесины?

Опишите основные хвойные породы?

Опишите основные лиственные породы?

Опишите основные пороки древесины?

Сортамент пиломатериалов?

Виды древесных пластиков?

Разновидности клееной древесины?

Классы функционального назначения зданий?

Класс условий эксплуатации?

Влажность древесины?

Влияние пороков на прочность древесины?

Влияние влажности и температуры на прочность древесины?

Описание процесса гниения древесины.

конструктивными мерами против гниения

Химическая защита древесины против гниения?

Конструктивные и химические меры против возгорания?

## Литература

1. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.С изменениями 1,2,3.  
<https://docs.cntd.ru/document/456082589?ysclid=lc0dfmf9gs722144630>
2. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80)
3. Вдовин Вячеслав Михайлович. Конструкции из дерева и пластмасс. Ограждающие конструкции : учеб. пособие для студентов вузов по инженер.-техн. направлениям / Вдовин Вячеслав Михайлович. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. - 180 с. : ил. - (Специалист). - Библиогр. : с. 165-166. - ISBN 978-5-534-04618-2 : 390-37.
4. Крицин Алексей Владимирович. Конструкции из дерева и пластмасс [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие по подгот. к лекц. занятиям по дисциплине "Конструкция из дерева и пластмасс" для обучающихся по направлению подгот. 08.03.01 Стр-во, профиль Пром. и гражд. стр-во / Крицин Алексей Владимирович ; Нижегор. гос. архит.-строит. ун-т. - Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. - 1 CD ROM. - Загл. с экрана. - <http://catalog.nngasu.ru/MarcWeb2/>. -
5. Миронов, Валерий Геннадьевич. Курс конструкций из дерева и пластмасс в рисунках с комментариями : учеб. пособие / Миронов Валерий Геннадьевич ; Нижегор. гос. архит.-строит. ун-т. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. - 144 с. : ил. - Библиогр. : с. 142.
6. В.Г. Миронов, В.В.Ермолаев, Р.И. Молев «Практическое применение, действующих норм при проектировании деревянных конструкции зданиях и сооружениях» С примером проектирования покрытия однопролетного каркасного здания каркасного здания пот клееным балкам, спаренным прогонам и дощатому настилу[Текст]:учебно. метод. пос./ В.Г. Миронов, В.В.Ермолаев , Р.И. Молев Нижегород. гос. архитектур - строит. ун-т. - Н Новгород: ННГАСУ 2019.-59с.
7. Определение предела прочности древесины при статическом изгибе : метод. указания по выполнению лаб. работы по дисциплине "Конструкции из дерева и пластмасс" для студентов направления 270100 "Стр-во" с ориентацией на спец. 270102 - "Пром. и гражд. стр-во" / Нижегор. гос. архит.-строит. ун-т, Каф. конструкций из дерева, древес. композитов и пластмасс; сост. Цепаев Валерий Александрович, Кондрашкин Олег Борисович. - Нижний Новгород : ННГАСУ, 2005. - 18 с. : ил. - Библиогр.: с. 17. - 0-00.

8. Определение предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон : метод. указания по выполнению лаб. работы по дисциплине "Конструкции из дерева и пластмасс" для студентов направления 550100 "Стр-во" с ориентацией на спец. 290300 - "Пром. и гражд. стр-во" / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, Каф. конструкций из дерева, древес. композитов и пластмасс; сост. Цепаев Валерий Александрович. - Нижний Новгород : ННГАСУ, 2003. - 16 с. - Библиогр.: с. 16. - 0-00.
9. Определение влажности древесины электровлагомером : метод. указания к лаб. работе по дисциплине "Конструкции из дерева и пластмасс" для студентов направления 270100.62 "Стр-во" с профилем спец. дисциплин по спец. 270102 - "Пром и гражд. стр-во" / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, Каф. конструкций из дерева, древес. композитов и пластмасс; сост. Торопов Александр Сергеевич. - Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. - 13 с.
10. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
11. Крицин, А. В. Исследование деревянных элементов, усиленных углеродным волокном, при статическом изгибе / А. В. Крицин, А. В. Тихонов, Д. М. Лобов // Приволжский научный журнал. - 2012. - №4 (24). - С. 55-60.
12. Лобов, Д. М. Особенности армирования деревянных элементов, усиленных углеродным волокном, при статическом изгибе / Д. М. Лобов, А. В. Крицин, А. В. Тихонов // Известия КГАСУ. - 2013. - №2 (24). - С. 132-138.
13. Крицин, А. В. Оценка прочности и деформативности образцов составных деревянных балок, объединенных углеродной лентой / А. В. Крицин, Е. С. Уточкина, Д. М. Лобов, А. В. Тихонов // Приволжский научный журнал. - 2013. - №2 (26). - С. 7-13.
14. Крицин, А. В. анализ методов расчета деревянных изгибаемых элементов, усиленных углеродным волокном / А. В. Крицин, С.Ю. Лихачева, Д.М. Лобов, А.В. Тихонов // Региональная архитектура и строительство. - 2014. - №4 (21). - С. 97-105.
15. Крицин, А. В. Экспериментальные исследования деревянных балок, усиленных углеродной лентой / А.В. Крицин, С.Ю. Лихачева, Д.М. Лобов, А.В. Тихонов // Приволжский научный журнал. - 2015. - №3 (35). - С. 103-109.

Ермолаев Виталий Викторович  
Лобов Дмитрий Михайлович  
Торопов Александр Сергеевич  
Клюев Сергей Васильевич

Основы строительных конструкций.  
Деревянные конструкции

Учебное пособие

Подписано в печать                      Формат 60×90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. 4,1. Усл. печ. л. 4,3. Тираж 300 экз. Заказ №

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.  
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
<http://www.nngasu.ru>, [src@nngasu.ru](mailto:src@nngasu.ru)