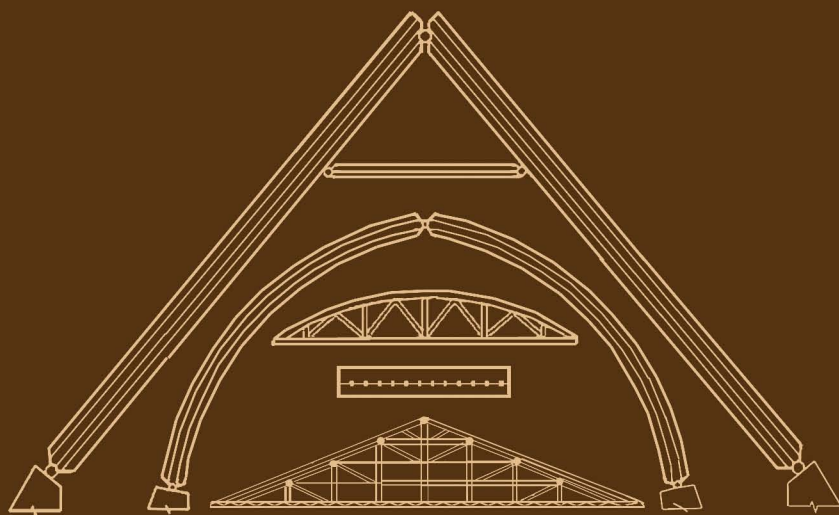


Калугин А.В.

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ



А. В. Калугин

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

*Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по специальности
«Промышленное и гражданское строительство»
направления подготовки дипломированных
специалистов «Строительство»*

Издание 2-е, исправленное и дополненное



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2008

УДК 624.011.1

К17

Рецензенты:

чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук *Т. И. Баранова*,
проф., д-р техн. наук *В. М. Вдовин*,
доц., канд. техн. наук *В. П. Герасимов*
(Пензенская архитектурно-строительная академия)

проф., канд. техн. наук *В. Ю. Щуко*,
доц., канд. техн. наук *Л. А. Еропов*
(Владимирский государственный университет)

доц., канд. техн. наук *С. И. Меркулов*,
проф., д-р техн. наук *А. А. Сморчков*
(Курский государственный технический университет)

Калугин А.В.

К17 **Деревянные конструкции: Учебное пособие / А. В. Калугин.** Издание 2-е, испр. и доп. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 288 с.

ISBN 978-5-88151-631-4

ISBN 978-5-93093-569-1

Рассмотрены физико-механические свойства древесины и основные положения по расчету и конструированию деревянных конструкций и их соединений. Даны краткие указания по защите деревянных конструкций от загнивания и возгорания. Изложены основы технологии производства клееных деревянных конструкций. Освещены вопросы инженерного обследования и усиления, а также методики технико-экономической оценки деревянных конструкций.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

УДК 624.011.1

ISBN 978-5-88151-631-4

ISBN 978-5-93093-569-1

© Калугин А.В., 2008

© Издательство АСВ, 2008

*Автор посвящает эту работу памяти Учителя — **Седельникова Геннадия Адриановича** (1913–1992), ветерана Великой Отечественной войны, преподавателя кафедры строительных конструкций Пермского государственного технического университета, многие годы блестяще читавшего курс лекций по данной дисциплине*

Автор выражает благодарность доцентам кафедры строительных конструкций ПГТУ И. Н. Фаизову, В. Ф. Ярьсько, Т. В. Юриной и И. Л. Тонкову, проф. В. М. Асташкину (Южно-Уральский гос. ун-т), проф. В. М. Вдовину, доц. В. П. Герасимову (Пензенская архитектурно-строительная академия), А. А. Дроздову (ОАО «Галургия»), проф. В. С. Сарычеву (Московский государственный строительный ун-т), проф. Б. П. Пасынкову (Уральский гос. ун-т путей сообщения), доц. В. А. Плотникову (Магнитогорский гос. ун-т) за ценные замечания и предложения по совершенствованию учебного пособия, а также аспирантам кафедры строительных конструкций ПГТУ Н. П. Ушаковой, А. А. Плаксину, С. А. Плаксину и Ю. Л. Тонкову за помощь в оформлении рукописи.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Деревянные конструкции в строительстве	7
1.1. Краткий исторический обзор	7
1.2. Современное состояние	11
2. Древесина как конструкционный строительный материал	17
2.1. Достоинства и недостатки древесины как строительного материала....	17
2.2. Лесные ресурсы России	18
2.3. Сортамент лесоматериалов	19
2.4. Макроструктура древесины	21
2.5. Микроструктура древесины	21
2.6. Химический состав древесины	23
2.7. Физические свойства древесины	23
2.8. Механические свойства древесины	24
2.9. Влияние различных факторов на прочность древесины	24
2.10. Строительная фанера	29
3. Расчет элементов деревянных конструкций	31
3.1. Основы расчета деревянных конструкций по методу предельных состояний	31
3.2. Нормирование расчетных сопротивлений древесины и фанеры	32
3.3. Центрально-растянутые элементы	35
3.4. Центрально-сжатые элементы	37
3.5. Изгибаемые элементы	42
3.6. Косой изгиб	47
3.7. Сжато-изгибаемые элементы	48
3.8. Растянуто-изгибаемые элементы	51
3.9. Сжатие и смятие древесины поперек волокон	52
3.10. Скалывание древесины	54
3.11. Краткие рекомендации по компоновке сечений деревянных элементов	57
4. Соединения элементов деревянных конструкций	59
4.1. Общие сведения	59
4.2. Лобовые врубки	62
4.3. Лобовые упоры	65
4.4. Нагельные соединения	67

4.5. Гвозди и шурупы, работающие на выдергивание	75
4.6. Соединения на клеенных стальных стержнях	76
4.7. Клеевые соединения элементов конструкций.....	77
5. Ограждающие конструкции с применением древесины	79
5.1. Общие сведения	79
5.2. Настилы	79
5.3. Плиты покрытий на деревянном каркасе	86
6. Деревянные балки	97
6.1. Общие сведения	97
6.2. Балки цельного сечения	97
6.3. Наслонные стропила	104
6.4. Балки Деревягина	106
6.5. Двутащовые балки с перекрестной дощатой стенкой на гвоздях	109
6.6. Клееные деревянные балки	111
6.7. Клефанерные балки	116
6.8. Армированные клееные деревянные балки	121
7. Клееные деревянные арки	127
7.1. Общие сведения	127
7.2. Основные положения по проектированию	127
7.3. Определение геометрических характеристик арок	133
7.4. Конструкция и расчет узлов	136
8. Деревянные рамы	147
8.1. Общие сведения	147
8.2. Основные положения по проектированию	155
8.3. Особенности конструктивного расчета некоторых типов рам	158
9. Деревянные фермы	161
9.1. Общие сведения	161
9.2. Основные положения по проектированию ферм	163
9.3. Деревянные фермы на лобовых врубках	173
9.4. Сегментные фермы	177
10. Обеспечение пространственной устойчивости зданий и сооружений с применением деревянных конструкций	185
10.1. Общие сведения	185
10.2. Некоторые правила постановки связей	189
10.3. Расчет связей	192

11. Пространственные деревянные конструкции	197
11.1. Общие сведения	197
11.2. Купола.....	198
11.3. Кружально-сетчатые своды	202
12. Защита деревянных конструкций	209
12.1. Общие сведения.....	209
12.2. Защита от загнивания	210
12.3. Защита от возгорания	215
12.4. Способы защиты деревянных конструкций	218
13. Производство клееных деревянных конструкций	221
13.1. Общие сведения	221
13.2. Требования к материалам для изготовления КДК	221
13.3. Технология изготовления клееных деревянных конструкций	229
14. Эксплуатация деревянных конструкций	233
14.1. Общие сведения	233
14.2. Основные положения методики инженерного обследования строительных конструкций	234
14.3. Особенности инженерного обследования деревянных конструкций ...	236
14.4. Принципы усиления деревянных конструкций	248
14.5. Определение прочностных показателей древесины.....	261
15. Техничко-экономическая оценка деревянных конструкций.....	267
15.1. Основные положения методики технико-экономической оценки строительных конструкций	267
15.2. Определение технико-экономических показателей деревянных конструкций.....	271
Список литературы	285

1. ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1. Краткий исторический обзор

Древесина — древнейший, ценный и благородный строительный материал. В истории развития строительной техники имеется много примеров выдающихся зданий и сооружений с применением деревянных конструкций. В их числе исторические здания, сохранившиеся до настоящего времени: Преображенский храм на острове Кижи, построенный в начале XVIII века (рис. 1.1); Колонный зал Дома союзов (бывший Дом Благородного собрания) — один из лучших концертных залов в России по акустике, построенный в конце XVIII века по проекту архитектора *М. Ф. Казакова*; Московский манеж, построенный в 1817 году по проекту архитекторов *А. А. Монферрана* и *А. А. Бетанкура* в честь победы России над Наполеоном.

В Колонном зале Дома союзов фермы пролетом 25 м — деревянные на лобовых врубках (рис. 1.2, *а*), колонны — также деревянные, только облицованные мрамором. Деревянные фермы покрытия Московского манежа пролетом 47,5 м являлись уникальными конструкциями даже для современного строительства (рис. 1.2, *б*). Покрытие Манежа восстановлено в 2005 году после пожара 2004 года из клееных деревянных ферм (рис. 1.3).

В г. Перми много зданий-памятников архитектуры, построенных в 1840–1914 годах, в покрытиях и междуэтажных перекрытиях которых использованы деревянные фермы и балки. Это дом промышленника *Н. В. Мешкова* (рис. 1.4); бывший Дом Благородного собрания (рис. 1.5) и др.

В развитие деревянных конструкций большой вклад внесли русские ученые:

Иван Петрович Кулибин (1735–1818) — один из первых экспериментаторов, изготовил и испытал модель уникального деревянного моста пролетом 300 м через р. Неву;

Дмитрий Иванович Журавский (1821–1891) — разработал первые нормы расчета деревянных конструкций, вывел формулу для определения касательных напряжений, создал теорию расчета мостовых ферм (фермы Гау—Журавского);

Владимир Григорьевич Шухов (1853–1939) — создал ряд легких деревянных пространственных сводчатых покрытий.



Рис. 1.1. Образцы русского деревянного зодчества на острове Кижи (слева — Преображенский храм)

В теорию и практику применения деревянных конструкций свой вклад внесли также российские ученые: *В. З. Власов* и др. (тонкостенные оболочки); *А. Р. Ржаницын* и др. (составные стержни на податливых связях); *С. И. Песельник* (кружально-сетчатые своды); *В. Ф. Иванов* и др. (нагельные и гвоздевые соединения), *Г. Г. Карлсен*, *А. Б. Губенко*, *В. М. Коченов*, *Б. А. Освенский* (клееные и клеефанерные конструкции) и др.

В 1929 году были утверждены первые Нормы и ТУ на проектирование деревянных конструкций. В 30–40-х годах XX века в строительстве широко применялись дощато-гвоздевые конструкции в виде двутавровых балок и рам (первые павильоны на Выставке достижений народного хозяйства в г. Москве); брусчатые составные балки на пластинчатых нагелях, разработанные инженером *В. С. Деревягиным*, а также дощатые и брусчатые треугольные и сегментные фермы.

Использование древесины в строительстве сыграло огромную роль в годы Великой Отечественной войны (1941–1945) и в послевоенный период восстановления народного хозяйства. В те годы были построены и до настоящего времени успешно эксплуатируются много зданий с применением деревянных конструкций. В основном это производственные корпуса промышленных предприятий и зрительные залы Дворцов культуры и кинотеатров.

1.2. Современное состояние

В связи с принятым Правительством страны в 1954 году курсом на преимущественное развитие промышленности сборного железобетона и широкое применение в строительстве сборных железобетонных конструкций с середины 50-х годов XX века было ослаблено внимание к конструкциям из других материалов. Применение стальных строительных конструкций строго регламентировалось специальными правилами. Использование лесоматериалов в строительстве резко сократилось (рис. 1.6).

В середине 70-х годов XX века под влиянием объективных факторов (увеличение объемов рассредоточенного сельского строительства, развитие малоэтажного домостроения, возрастание числа объектов с химически агрессивной средой по отношению к железобетону и стали) применение деревянных конструкций (ДК) в строительстве расширилось, чаще стали применяться клееные деревянные конструкции (КДК).

Первые здания из КДК были построены в стране в начале 50-х годов XX века. Работы в этой области велись под руководством *А. Б. Губенко* и *Г. Г. Карлсена*. Однако из-за отсутствия качественных водостойких клеев, несовершенства технологии изготовления и по другим причинам КДК не получили широкого распространения.

В настоящее время накоплен большой опыт проектирования, производства, монтажа и эксплуатации КДК. Научные исследования, а также разработка нормативных документов, рабочих чертежей конструкций и проектов зданий с применением КДК осуществляются во многих институтах и вузах: ЦНИИСК им. Кучеренко, ЦНИИЭПсельстрой, ЦНИИМОД, ЦНИИЭП им. Мезенцева, ОАО «Галургия», МГСУ, СПбГАСУ, ПГТУ и др.

Вместе с тем, по оценкам специалистов, на несущие и ограждающие деревянные конструкции приходится менее 10 % лесоматериалов, используемых в строительстве, а около 50 % древесины расходуется при производстве строительного-монтажных работ (одноразовая опалубка, леса, подмости), т. е. не всегда рационально (рис. 1.7).

В 70–80-х годах XX века в России действовало более 20 деревообрабатывающих комбинатов, на которых было организовано производство КДК (в Архангельске, Волоколамске, Вологде, Вельске и др.). Примерная структура использования деревянных конструкций по видам строительства показана на рис. 1.8. Выпуск КДК составлял 60...70 тыс. м³/год (рис. 1.9). В Пермском крае производство КДК было налажено в гг. Березники, Соликамске, Кунгуре.

Основная номенклатура несущих конструкций:

- стрельчатые и А-образные арки пролетом 45 м (проект УралВНИИГ);
- металлодеревянные арки (марки АМД, серия 1.860-6, вып. 1);
- металлодеревянные фермы (марки МДФ, серия 1.863-2, вып. 1, 2);
- стрельчатые арки (марки ДСА, серия 1.863-3, вып. 1);
- гнутоклееные рамы (марки ДГР, серия 1.822-1, вып. 2, 3);
- сегментные металлодеревянные фермы (серия 1.263-1, вып. 1, 2);
- клееные деревянные балки (серии 1.462-2, 1.463-2, 1.463-6, 1.262-1).

КДК применяются в каркасах и покрытиях: промышленных и складских зданий пролетами до 60 м; сельских производственных зданий пролетами до 24 м; спортивных и выставочных залов пролетами до 60 м. В 1980 году в Архангельске по проекту ЦНИИЭП им. Мезенцева построено крупнейшее здание в России из клееных деревянных арок — Дворец спорта (рис. 1.10). На калийных комбинатах Пермского края смонтировано более 30 складов минеральных удобрений из клееных деревянных арок пролетом 45 м (рис. 1.11, 1.12). В экспериментальном порядке в сельском строительстве применяются: клефанерные балки и рамы (ведущий институт ЮЖГИПРОНИсельстрой); дощатые деревянные фермы на металлических зубчатых пластинах типа «Gang Nail» («Гэнг-Нейл»); армированные клееные деревянные конструкции (Владимирский государственный университет, ЦНИИСК, ЦНИИпромзданий и др.).

За рубежом клееные деревянные конструкции нашли применение в покрытиях спортивных большепролетных сооружений. Имеется много примеров уникальных зданий пролетами 100...250 м, перекрытых клееными деревянными арками. Конструкции из цельной древесины (деревянные каркасы из стоек и стропильные фермы с узловыми соединениями на накладках типа «Гэнг-Нейл») широко используются в малоэтажном домостроении, в сельском строительстве — в сочетании с металлическими колоннами (сборный железобетон в сельском строительстве практически не применяется).

В 1991–2000 годах в связи с нестабильной экономической ситуацией в нашей стране массовое производство ДК и КДК было практически свернуто. Выпуск ДК и КДК осуществлялся на отдельных предприятиях эпизодически по разовым заказам. В настоящее время создана Ассоциация производителей деревянных клееных конструкций России. Выпуск КДК возобновлен на многих предприятиях в гг. Березники, Королеве Московской области, Новосибирске, Волоколамске, Вологде и др.

Для малоэтажного индивидуального домостроения расширяется выпуск профилированного клееного бруса, в том числе на основе архитектурно-



Рис. 1.13. Современный коттедж из оцилиндрованных бревен

склеивание шпона по длине и ширине, распиловка на элементы требуемой длины и ширины.

На основе проведенных технико-экономических исследований, а также анализа отечественного и зарубежного опыта специалистами рекомендуется в перспективе шире применять ДК и КДК в каркасах и покрытиях:

- а) производственных зданий пролетами до 18 м — *клееные деревянные рамы и металлодеревянные фермы;*
- б) спортивных, выставочных и других большепролетных общественных зданий (для повышения архитектурной выразительности зданий и сооружений и получения социального эффекта) — *клееные деревянные арки и рамы пролетами до 60 м;*
- в) промышленных и складских зданий с химически агрессивной средой калийных предприятий, а также аналогичных зданий других отраслей промышленности — *клееные деревянные арки пролетами до 45 м;*
- г) малоэтажных зданий — *деревянные балки, дощатые и брусчатые фермы.*

При надстройке мансардных этажей эффективны *стропильные системы из бруса (клееного бруса);* для опор линий связи и опор ЛЭП напряжением до 120 кВ — *круглые лесоматериалы.*

2. ДРЕВЕСИНА КАК КОНСТРУКЦИОННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

2.1. Достоинства и недостатки древесины как строительного материала

Древесина, как и другие строительные материалы, имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинства:

- наличие широкой, постоянно возобновляемой сырьевой базы;
- относительно малая плотность;
- высокая удельная прочность — отношение предела прочности при растяжении вдоль волокон к плотности: $100/500 = 0,2$ (примерно равная стали);
- стойкость к солевой агрессии, к воздействию других химически агрессивных сред;
- биологическая совместимость с человеком и животными — в зданиях из древесины наилучший микроклимат;
- высокие эстетические и акустические свойства — лучшие концертные залы страны облицованы древесиной;
- малый коэффициент теплопроводности поперек волокон — стена из бруса шириной 200 мм эквивалентна по теплопроводности кирпичной стене шириной 640 мм;
- малый коэффициент линейного расширения вдоль волокон — в деревянных зданиях нет необходимости устраивать температурные швы и подвижные опоры;
- меньшая трудоемкость механической обработки, возможность создания гнутоклееных конструкций.

Недостатки:

- анизотропия строения древесины;
- подверженность загниванию и поражению жуками-древоточцами;
- стораемость в условиях пожара;
- изменение физико-механических характеристик под воздействием различных факторов (влаги, температуры);

Учебное издание

Калугин Александр Васильевич

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Учебное пособие

Редактор Н. В. Бабинова
Компьютерная верстка М. М. Зильберман
Дизайн обложки Н. С. Романова

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 17.09.07.

Подписано к печати 20.01.08. Формат 70 × 100/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 18 п. л. Тираж 2000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации — оф. 511,
тел., факс (495)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://iasv.ru>