

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Под редакцией проф. **Ю. Н. ХРОМЦА**

Допущено

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

3-е издание, переработанное и дополненное

УДК 624.07(075.8)
ББК 38.55я73
К725

Авторы:

Г. Н. Зубарев, Ф. А. Бойтемиров, В. М. Головина,
В. И. Ковликов, Э. М. Улицкая

Рецензенты:

акад. Международной академии энергоинформационных наук,
проф. Военно-инженерного университета, д-р техн. наук *Ю. Н. Глазунов*;
д-р техн. наук, проф. *Л. М. Ковальчук* (зав. сектором ЦНИИСК Госстроя России)

Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие для
К725 студ. вузов / Г. Н. Зубарев, Ф. А. Бойтемиров, В. М. Головина и др.; Под ред. Ю. Н. Хромца. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 304 с.
ISBN 5-7695-1450-7

В пособии изложены основы расчета и проектирования конструкций из дерева и пластмасс. Основное внимание обращено на расчеты и проектирование современных клееных конструкций, нашедших широкое применение в отечественной и зарубежной практике. Рассмотрены физико-механические свойства древесины и конструкционных пластмасс, виды соединений, методы расчета ограждающих и несущих конструкций — балок, стоек, арок, рам и ферм — с учетом новых норм и правил. Освещены основы технологии изготовления, монтажа и восстановления конструкций.

Для студентов строительных специальностей вузов. Может быть использовано студентами средних профессиональных учебных заведений, колледжей, а также инженерами-проектировщиками.

УДК 624.07(075.8)
ББК 38.55я73

ISBN 5-7695-1450-7

© Коллектив авторов, 2004
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2004
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Вопросы для самопроверки	13
Глава 1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ДРЕВЕСИНА И ПЛАСТМАССЫ	14
1.1. Конструкционная древесина	14
1.2. Конструкционные пластмассы	31
Вопросы для самопроверки	39
Глава 2. ДЕРЕВЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	40
2.1. Расчеты по предельным состояниям	40
2.2. Расчет деревянных элементов	47
Вопросы для самопроверки	65
Глава 3. СОЕДИНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ И ПЛАСТМАССОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	66
3.1. Соединения деревянных конструкций	66
3.2. Соединения пластмассовых конструкций	88
Вопросы для самопроверки	94
Глава 4. ДЕРЕВЯННЫЕ И ПЛАСТМАССОВЫЕ НАСТИЛЫ	95
4.1. Деревянные настилы	95
4.2. Пластмассовые настилы	107
Вопросы для самопроверки	118
Глава 5. ДЕРЕВЯННЫЕ БАЛКИ И СТОЙКИ	119
5.1. Деревянные балки	119
5.2. Деревянные стойки	139
Вопросы для самопроверки	152
Глава 6. ДЕРЕВЯННЫЕ АРКИ	153
6.1. Конструкции арок	153
6.2. Расчет деревянных арок	162
Вопросы для самопроверки	183
Глава 7. ДЕРЕВЯННЫЕ РАМЫ	184
7.1. Конструкции деревянных рам	184
7.2. Расчет деревянных рам	192
Вопросы для самопроверки	203
Глава 8. ДЕРЕВЯННЫЕ ФЕРМЫ	204

8.1. Конструкции деревянных ферм	204
8.2. Расчет деревянных ферм	213
Вопросы для самопроверки	223
Глава 9. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС	224
9.1. Пространственные конструкции	224
9.2. Специальные деревянные конструкции	230
9.3. Пневматические и тентовые строительные конструкции	241
Вопросы для самопроверки	257
Глава 10. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС	258
10.1. Изготовление конструкций из дерева и пластмасс	258
10.2. Эксплуатация деревянных конструкций	273
Вопросы для самопроверки	283
Приложения	284
Список литературы	301

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии систематизированы материалы по основам проектирования строительных конструкций из дерева и пластмасс, которые включают и даже несколько расширяют программу курса «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

В книге рассмотрены физико-механические свойства древесины и конструкционных пластмасс, виды соединений. Приведены основные данные по проектированию и расчету ограждающих конструкций из дерева и пластмасс. Даны методы расчета и проектирования несущих конструкций — балок, стоек, арок, рам, ферм, а также наиболее распространенных пространственных конструкций в соответствии со СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования». Изложены основы технологии изготовления, защиты, монтажа, усиления и реконструкции различных видов несущих конструкций. Рассмотрены вопросы расчета воздухоопорных, пневмокаркасных, тентовых и других пневматических конструкций на различные виды нагрузок. Представлены расчет и конструирование ограждающих и несущих конструкций применительно к самостоятельному выполнению студентами курсовых и дипломных проектов.

В учебном пособии нашли отражение научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, проводимые различными вузами и организациями (МИКХиС, МГСУ, ЦНИИСК и др.).

Книга представляет интерес для проектных и производственных организаций, связанных с решением вопроса снижения металлоемкости строительства путем внедрения легких промышленных конструкций, обладающих повышенной долговечностью в слабых агрессивных средах, а также отвечающих высоким требованиям экологической чистоты и энергоснабжения.

Авторы признательны рецензентам — акад. Международной академии энергоинформационных наук, проф. Военно-инженерного университета, д-ру техн. наук Ю. Н. Глазунову, а также зав. сектором ЦНИИСК Госстроя России заслуженному деятелю науки РФ, проф., д-ру техн. наук Л. М. Ковальчуку.

Замечания и предложения просим присылать в Издательский центр «Академия» по адресу: 129085, Москва, просп. Мира, д. 101в, стр. 1, а/я 48.

ВВЕДЕНИЕ

Конструкции из дерева и пластмасс относятся к классу легких строительных конструкций, применение которых в строительстве является одним из важных направлений на пути повышения эффективности и ускорения строительного производства.

Деревянные конструкции являются надежными, легкими и долговечными. На основе клееных деревянных конструкций сооружают здания с покрытиями как малых, так и больших пролетов. Из цельных лесоматериалов строят небольшие жилые дома, общественные и производственные здания. Из конструкционных пластмасс можно создавать ограждающие конструкции общественных и производственных зданий. Они являются очень легкими и могут быть прозрачными. Эти конструкции водостойки и не подвержены опасности загнивания.

Деревянные конструкции люди начали применять еще в глубокой древности. Древесина — это единственный легкодоступный самовозобновляющийся строительный материал. Огромные площади нашей страны покрыты лесами особенно ценных хвойных пород. Однако использование этих лесных богатств развивалось долгие годы по неправильному пути. В наиболее доступных районах леса вырубались в объемах, намного превышающих их естественный прирост, и без принятия мер по их восстановлению. При этом много срубленного леса не вывозилось и сгнивало на месте. Это привело к истощению лесных запасов в большинстве областей европейской части нашей страны и возникновению серьезного дефицита древесины.

В настоящее время необходима коренная перестройка восстановления лесов. Должно быть обеспечено превышение естественного прироста древесины над ее заготовками, вывоз всей заготовленной древесины и совершенствование лесной и бумажной промышленности для ее безотходного использования. При этом запасы древесины должны возрастать, а ее использование — увеличиваться.

Древесина — относительно легкий и прочный материал, особенно в направлении вдоль ее волокон, где действуют наибольшие усилия от внешних нагрузок. Плотность сухой сосновой и еловой древесины составляет 500 кг/м^3 , что позволяет возводить деревянные конструкции пролетом до 100 м и более. Древесина — микропористый материал с хорошими теплоизоляционными и

санитарно-гигиеническими свойствами. Это важно для стен и покрытий жилых малоэтажных домов.

Древесина — легкообрабатываемый материал, что облегчает и упрощает изготовление деревянных конструкций. Древесина стойко сопротивляется разрушительному воздействию слабых химических агрессивных сред и поэтому деревянные конструкции успешно эксплуатируются в зданиях химической промышленности, где быстро разрушаются металлические конструкции. Древесина выдерживает ударные и циклические нагрузки, поэтому деревянные конструкции достаточно надежны в зданиях и сооружениях, расположенных в сейсмоопасных районах.

Древесина надежно склеивается водостойкими синтетическими клеями. Благодаря этому изготавливают клеелесные элементы крупных сечений, больших длин, измеряемых десятками метров, и разных форм — гнутых, ломаных и др. Из таких элементов делают конструкции больших пролетов. Из древесины путем склеивания листов получают водостойкую строительную фанеру, из которой изготавливают легкие клеелесные конструкции.

Деревянные конструкции имеют также существенные недостатки. При неправильном применении и эксплуатации, в результате длительного увлажнения они разрушаются. Однако современные конструктивные и химические методы защиты от гниения обеспечивают их сохранность при многолетней эксплуатации. Деревянные конструкции являются сгораемыми. Однако современные деревянные конструкции из элементов крупных сечений имеют предел огнестойкости выше, чем у некоторых других конструкций. Они могут быть дополнительно защищены от возгорания специальными покрытиями.

История применения деревянных конструкций насчитывает много веков и теряется в глубине тысячелетий. Первобытные люди строили из деревянных стволов каменными топорами небольшие примитивные жилища на земле и на сваях, небольшие ограды и мосты. В Древнем Риме строили деревянные дома, храмы и мосты через крупные реки. Например, легионами Цезаря был в I в. построен крупный мост через р. Рейн. До наших дней сохранились выдающиеся деревянные храмы, построенные в средние века в Китае и Японии с использованием бамбуковой древесины. В средневековой Европе широко использовались деревянные стропила крыш. В XVI в. итальянский архитектор Паладио использовал подкосные конструкции и стропильные фермы.

Особенно широко применялись деревянные конструкции в нашей, богатой лесами стране. В средние века практически все жилые дома, дворцы, большинство храмов и крепостей строились деревянными со стенами из круглых бревен. В X в. в Новгороде была возведена дубовая 13-главая церковь святой Софии.

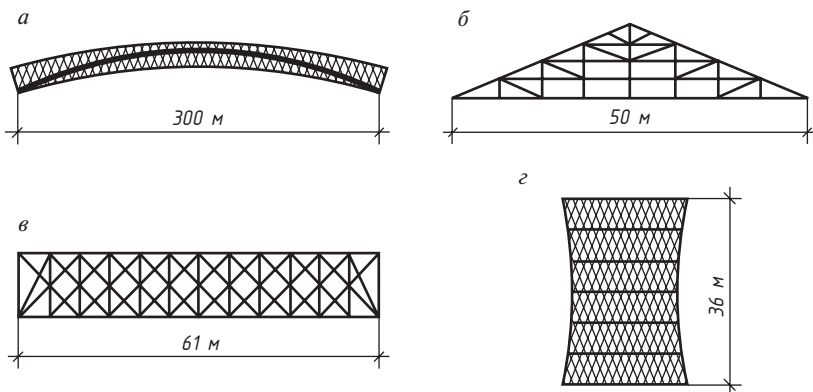


Рис. В.1. Схемы выдающихся древних деревянных конструкций, созданных в России:

а — проект моста через р. Неву в Санкт-Петербурге (авт. И. П. Кулибин); *б* — ферма покрытия Московского Манежа (авт. А. А. Бетанкур); *в* — ферма моста через р. Мсту на Московско-Петербургской железной дороге (авт. Д. И. Журавский); *г* — сетчатая башня в г. Орске (авт. В. Г. Шухов)

Первые башни Московского Кремля и соединяющие их стены были построены из дубовой древесины в XIII в. До наших дней сохранилась маленькая церковь воскресения Лазаря в г. Муроме, возведенная в XIV в.

В XVI—XVIII вв. в основном на севере и востоке страны продолжалось интенсивное строительство жилых домов и церквей со стенами из круглых бревен.

В конце XVII в. под Москвой в селе Коломенское был построен великолепный загородный дворец царя Алексея Михайловича. Модель этого дворца находится в музее Коломенского заповедника. В 1714 г. была возведена и сохранилась до наших дней замечательная 22-главая деревянная Преображенская церковь в селе Кижы. В 1738 г. был построен деревянный шпиль башни высотой 72 м здания Адмиралтейства в Петербурге. В XVIII в. началось широкое строительство деревянных стержневых конструкций из брусьев, бревен и досок.

В конце XVIII в. И. П. Кулибиным был разработан оригинальный проект деревянного моста через р. Неву в Петербурге пролетом 300 м (рис. В.1, *а*). Мост имел комбинированную систему и состоял из ряда гибких арок и жестких арочных ферм. Была построена модель этого моста в 1/10 натуральной величины и ее испытания показали правильность решения и достаточную прочность конструкции. В натуральную величину такой мост не мог быть возведен ввиду отсутствия в то время способов сооружения таких крупных конструкций. Идея комбинированных конструкций И. П. Кулибина нашла применение в дальнейшем в решениях крупных строительных конструкций.

В начале XIX в. в России при строительстве Московского Манажа А. А. Бетанкуром были разработаны и впервые использованы в покрытии большепролетные деревянные брусчатые треугольные стропильные фермы пролетом 50 м (рис. В.1, б). В середине XIX в. Д. И. Журавский спроектировал и руководил строительством ряда деревянных мостов Московско-Петербургской железной дороги. Крупнейший из них мост через р. Мсту имел девять пролетов длиной по 61 м каждый. Фермы этого моста имели деревянные брусчатые перекрестные раскосы и стойки в виде стальных тяжей (рис. В.1, в). Он также создал метод расчета деревянных элементов на скалывание при изгибе и метод определения допускаемых напряжений древесины экспериментальным путем.

В начале XX в. В. Г. Шухов разработал первые деревянные пространственные конструкции. В Нижнем Новгороде был построен под его руководством первый предложенный им деревянный свод пролетом 21 м из трех слоев досок, соединенных гвоздями. В г. Орске была построена разработанная им башня-градирня высотой 36 м сетчатой конструкции из стержней, расположенных перекрестно по поверхности гиперболоида вращения и соединенных болтами в местах пересечений (рис. В.1, г).

В 30-х годах XX в. в связи с дефицитом стали и цемента значительно расширилось применение деревянных конструкций, особенно в промышленном строительстве. Началось использование дощато-гвоздевых балок и рам, брусчатых и дощато-гвоздевых сегментных ферм и брусчатых балок на деревянных пластинках, предложенных В. С. Деревягиным. Был разработан и построен ряд кружально-сетчатых сводов и дощато-гвоздевых сводов-оболочек пролетом до 50 м. В Москве были построены из дерева большинство павильонов ВДНХ (ныне — ВВЦ).

Широко применялись деревянные конструкции в промышленном строительстве в годы первых пятилеток и во время Второй мировой войны. Большое значение в развитии этих конструкций имели труды Г. Г. Карлсена. В 50-е годы началось производство клееных деревянных конструкций. Развитие этих прогрессивных конструкций оказалось возможным благодаря производству клеев на основе синтетических полимерных смол высокой прочности, водостойких и не подверженных гниению. Сначала применялись фенолформальдегидные клеи, в дальнейшем более надежные резорциновые клеи при склеивании древесины и эпоксидные клеи при склеивании древесины с металлами. Появилась клееная водостойкая фанера.

Были разработаны и начали изготавливаться первые клеелесные балки, стойки, рамы, клеелесные плиты и панели. За создание и внедрение клеелесных конструкций А. С. Белозеровой, А. Б. Губенко и Г. Г. Карлсену была присуждена Государ-

ственная премия. При участии Г. Н. Зубарева были разработаны первые типовые конструкции — клеедеревянные фермы со стальными нижними поясами, а в 40-х годах разработано и построено первое крупное деревянное сооружение склада калийной соли. Основными несущими конструкциями покрытия этого склада являются клеедеревянные стрельчатые арки без затяжек. Эти арки пролетом 45 м и сечением 30×105 см показали высокую надежность и долговечность в условиях химически агрессивной среды.

В дальнейшем в нашей стране были расширены и построены заводы и комбинаты по изготовлению деревянных строительных изделий и сборных малоэтажных жилых домов. В составе ряда из них появились цеха по изготовлению клееных деревянных конструкций. Были возведены первые крупные производственные и общественные здания с несущими клеедеревянными конструкциями. В Архангельске при участии М. Ю. Заполя был построен Дворец спорта с сегментными клеедеревянными арками без затяжек пролетом 63 м.

В 2002 г. в морском порту Санкт-Петербурга построен универсальный перегрузочный комплекс для экспорта минеральных удобрений. Несущие клееные конструкции каркаса, разработанные под руководством и с участием С. Б. Турковского, представляют собой трехшарнирные сборные рамы высотой 45 м и пролетом 63 м, опертые на железобетонные фундаменты (рис. В.2, а). Каждая полурама длиной 57 м по условиям изготовления и перевозки состо-

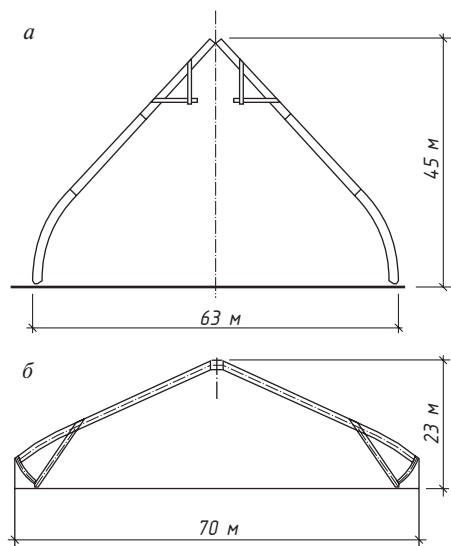


Рис. В.2. Схемы крупных клеедеревянных конструкций, построенных в России

ит из трех блоков сечением $3(14 \times 157)$ см. Их собирали непосредственно на строительной площадке с помощью двух жестких равнопрочных стыков системы ЦНИИСК.

В Москве построено круглое в плане складское сооружение в виде ребристо-кольцевого купола диаметром по карнизу 70 м и высотой 23 м (рис. В.2, б). Купол образован 20 меридиональными ребрами с максимальным поперечным сечением $2(14 \times 130)$ см. Проект несущего каркаса из клееной древесины разработан ЦНИИСК совместно с Союздорпроектом.

Клеедеревянные элементы применялись в конструкциях малоэтажных жилых домов, небольших промышленных и общественных зданий, автодорожных мостов. В это же время были созданы и исследованы новые типы соединений клеедеревянных конструкций — на стальных стержнях, вклеенных в древесину. Они показали значительный эффект при стыковании растянутых клеедеревянных стержней, в решениях жестких соединений элементов под углами и при креплении сжатых стержней под прямым углом, благодаря чему исключается поперечное смятие древесины. Начали применяться предложенные за рубежом стальные зубчатые пластинки для соединения элементов дощатых конструкций.

За рубежом широко использовали небольшие конструкции из цельных деревянных элементов и большепролетные клеедеревянные конструкции главным образом арочных и пространственных типов. В качестве примера можно привести спортивный зал с трибунами в г. Пуатье во Франции, который имеет овальную форму в плане. Основной несущей конструкцией покрытия этого зала является клеедеревянная арка пролетом 75 м, расположенная по продольной оси здания. На нее опирается ряд поперечных клеедеревянных балок с разными пролетами, имеющих обратные выгибы (как бы искусственное провисание), созданные при их изготовлении. Наружными концами они опираются на железобетонные колонны.

Спортивный зал в г. Бозмане в США имеет покрытие в форме сферического купола пролетом 91,5 м и высотой 15 м с арочными концентрическими клеедеревянными ребрами, которые опираются на многоугольное опорное кольцо. Спортивный зал в г. Солт-Лейк-Сити в США имеет покрытие в виде клеедеревянного сетчатого купола с треугольными ячейками. Этот купол диаметром 150 м и высотой 38 м опирается на стальное опорное кольцо.

Основным направлением развития конструкций из дерева в нашей стране является разработка, производство и применение новых клеедеревянных конструкций. Типы конструкций должны быть унифицированы. Заводское производство должно обеспечивать массовое изготовление клеедеревянных конструкций любых требуемых форм и размеров. Такое производство должно быть ме-

ханизировано, автоматизировано и малотрудоемко. В данных конструкциях могут использоваться пиломатериалы ограниченных размеров сечений и длин. Сорт материалов повышают путем вырезки участков с пороками, с последующим стыкованием их зубчатými шипами. Строгий лабораторный и технологический контроль должен обеспечивать высокое качество и надежность конструкций.

Клеедеревянные конструкции достаточно стойки против гниения и горения, поэтому они должны шире применяться при строительстве сельскохозяйственных складских, производственных и животноводческих зданий, промышленных зданий со слабой химически агрессивной средой, общественных зданий крупных размеров (спортивные, зрелищные, торговые) и автодорожных мостов.

Намечается тенденция по расширению применения простейших клеедеревянных балок и арок. Находят рациональное использование клеедеревянные рамы и фермы, ребристые и сетчатые купола, клеефанерные балки, плиты и панели.

Кроме того, увеличивается изготовление и применение деревянных конструкций из цельной неклееной древесины — досок, брусев и бревен. Они могут использоваться в балках, стойках и стропилах малоэтажных жилых домов, а также в фермах, арочных и кружально-сетчатых сводах, производственных, сельскохозяйственных и общественных зданиях, пролетных строениях малых мостов и других специальных конструкций, особенно в районах, богатых лесами и не имеющих предприятий по изготовлению клееных деревянных конструкций.

Пластмассовые конструкции, называемые также конструкциями с применением пластмасс, начали разрабатываться, изготавливаться и применяться в нашей стране и за рубежом примерно с середины XX в. Незадолго до этого были созданы конструкционные пластмассовые строительные материалы на основе полимерных синтетических смол и началось быстрое развитие их промышленного производства, а также добавок и наполнителей, придающих им необходимые строительные свойства.

Основными конструкционными строительными материалами являются высокопрочный стеклопластик из непрозрачной полимерной терморективной смолы и взаимно пересекающихся рядов непрерывных стекловолокон; прозрачный менее прочный стеклопластик из терморективной прозрачной смолы и хаотически расположенных коротких стекловолокон; прозрачное оргстекло (органическое стекло) из термопластичной полимерной смолы; винипласт из термопластичной полимерной смолы, он бывает непрозрачным и прозрачным, отличается высокой стойкостью против химически агрессивных сред; пенопласты из твердых пузырьков воздуха или безвредного газа со стенками из термопласт-

тичных или термореактивных смол, они отличаются предельно малой собственной массой, прочностью и жесткостью.

Воздухонепроницаемые ткани имеют значительную прочность. Они состоят из основы в виде тканей из полимерных волокон и покрытий из синтетических резин или эластичных полимерных смол; из пленок, армированных синтетическими волокнами. Почти все конструкционные пластмассовые материалы имеют небольшую толщину, измеряемую миллиметрами, и выпускаются в основном в виде плоских или волнистых листов и тканевых рулонов. Пенопласты изготавливают только в виде плит толщиной, измеряемой сантиметрами, а высокопрочные стеклопластики выпускают еще и в виде различных профилей и труб. Пластмассы как конструкционные строительные материалы имеют существенные достоинства. Они легкие, их плотность примерно в два раза больше плотности древесины. Однако плотность наиболее часто применяемых видов пенопластов очень мала и не превышает 50 кг/м^3 . В процессе твердения синтетических смол изделиям из стеклопластиков, винипласта и оргстекла можно придавать необходимую форму, не требующую дальнейшей обработки.

Конструкционные пластмассы как строительные материалы имеют и существенные недостатки. Они являются сгораемыми и имеют невысокие пределы огнестойкости. Их жесткость невелика и, за исключением высокопрочного стеклопластика, значительно ниже, чем у древесины. Они подвержены старению от атмосферных воздействий, пока дороги и дефицитны. В связи с этим конструкционные строительные пластмассы рационально применять в основном для ограждающих строительных конструкций. Это наиболее легкие плиты и панели покрытий и стен, прозрачные участки ограждений зданий, конструкции зданий с химически агрессивной средой и др.

Значительное распространение в нашей стране получили трехслойные плиты и панели покрытий и стен промышленных зданий. Они состоят из среднего пенопластового слоя и наружных слоев из листового материала — металла, асбестоцемента или фанеры. Наиболее эффективны плиты и панели с наружными слоями из тонких алюминиевых листов толщиной порядка 1 мм, поверхностная плотность которых не превышает 20 кг/м^2 . Они особенно эффективны при строительстве в отдаленных районах, куда их можно доставлять воздушным транспортом из районов изготовления. Светопроницаемые участки из волнистого прозрачного стеклопластика использовались в асбестоцементных стенах неотапливаемых складских зданий. Светопроницаемые ограждения из гнутых плит, выполненных из волнистого прозрачного стеклопластика, обклеенных плоскими листами из такого же материала и уложенных по кледедеревянным аркам, были применены в покры-

тии отапливаемого плавательного бассейна в Подмоскowie. Первые зенитные фонари из прозрачного оргстекла были включены в состав покрытия Дворца пионеров в Москве. В 1959 г. был построен сферический купол диаметром 43 м из стеклопластика.

Пневматические конструкции представляют собой замкнутые оболочки из воздухонепроницаемой ткани или пленки, внутри которых воздух находится под постоянным избыточным давлением. Они бывают в виде воздухоопорных пневмооболочек, пневмовантовых и пневмокаркасных пневмоэлементов. Воздухоопорная пневмооболочка состоит из тканевой оболочки, опорного контура, входного шлюза и воздуходувной установки. Эти пневмооболочки имеют цилиндрическую сводчатую или сферическую купольную форму и могут образовывать покрытия пролетом до 60 м. Они имеют небольшую поверхностную плотность (около 1 кг/м^2), могут перевозиться любым видом транспорта в сложенном виде и устанавливаться на опорный контур в считанные дни. Такие оболочки образуют легкие временные сборно-разборные покрытия складских, спортивных, выставочных, зрелищных и небольших производственных помещений, которые в холодное время года обогреваются нагретым воздухом калорифера, включенного в воздуходувную установку. Эти конструкции сейсмостойки.

Пневмовантовые конструкции представляет собой воздухоопорные оболочки, в состав которых включены стальные тросы — ванты. Ванты воспринимают основную часть усилий, действующих в оболочке, и поэтому пролеты пневмовантовых конструкций могут быть значительно больше и достигать 100 м. Пневмовантовые конструкции могут состоять также из системы перекрестных горизонтальных тросов и почти плоской оболочки. Такие оболочки в бесснежных районах могут иметь очень большие пролеты.

Пневмокаркасные конструкции (пневмостойки, пневмобалки и пневмоарки) состоят из пневмоэлементов, которые представляют собой герметически замкнутые баллоны из особо прочной воздухонепроницаемой ткани с резиновыми камерами внутри, где постоянно действует значительное избыточное воздушное давление. Они могут служить стойками, балками и арками небольших сборно-разборных тканевых покрытий пролетом не более 12 м. Внутри таких покрытий действует нормальное давление воздуха и они не нуждаются в шлюзах. Небольшое количество воздуха внутрь пневмоэлементов может подаваться автомобильным насосом.

Тентовые конструкции — это легкие сборно-разборные конструкции из водонепроницаемых тканевых оболочек, которые поддерживаются жесткими деревянными или металлическими каркасами или стоечно-вантовыми системами. Они применяются в виде временных покрытий различного назначения. Для их изготовления не требуются воздухонепроницаемые ткани и не надо постоянно поддерживать избыточное давление воздуха.

Вопросы для самопроверки

1. Какие деревянные строительные конструкции существуют? Каковы их основные достоинства и недостатки?
2. В каких областях промышленности наиболее рационально применение деревянных конструкций?
3. Какие уникальные деревянные конструкции были возведены в нашей стране в прошлом и за последние годы?
4. На какие основные два класса делят деревянные конструкции по методам изготовления?
5. Каковы основные направления прогресса в изготовлении и применении деревянных конструкций?
6. Какие конструкционные пластмассовые строительные материалы существуют?
7. Какие пластмассовые строительные конструкции существуют? Каковы их основные достоинства и недостатки?
8. В каких областях экономики страны наиболее рационально применение пластмассовых конструкций?

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ДРЕВЕСИНА И ПЛАСТМАССЫ**1.1. Конструкционная древесина**

Древесина — ценный конструкционный строительный материал, продукт лесов, запасы которого могут возобновляться после его рациональных заготовок. Обширные леса занимают почти половину территории России. Таким образом, по площади лесов наша страна находится на первом месте в мире. Основная масса лесов, около $3/4$, расположена в районах Сибири, Дальнего Востока и в северных областях европейской части страны. Почти $3/4$ наших лесов состоят из наиболее ценных для строительства хвойных пород. Из них $2/5$ лесов занимает лиственница, $1/6$ — сосна, $1/8$ — ель, меньше — пихта и кедр. Лиственные породы составляют около $1/4$ площади лесов. Наиболее распространенной лиственной породой является береза, занимающая около $1/6$ площади лесов. Дуб, бук и осина распространены меньше.

Запасы древесины в наших лесах составляют около 80 млрд м³. Ежегодно заготавливается около 130 млн м³ деловой древесины, пригодной для изготовления строительных конструкций и изделий. Однако до настоящего времени заготовки древесины значительно превышают ее естественный прирост. Восстановление лесов на месте вырубленных производится в недостаточных объемах. Лесное хозяйство нашей страны требует коренной перестройки. Перерубы выше естественного прироста должны быть прекращены, и на месте вырубленных лесов должны выращиваться новые.

Заготовленный лес в виде отрезков стандартной длины доставляют автомобильным, железнодорожным и водным транспортом или путем сплава по рекам и озерам на деревообрабатывающие предприятия. Там из него изготавливают пиленые материалы, фанеру, древесные плиты, деревянные конструкции и строительные детали. Экономически целесообразно снабжать строительные объекты пиломатериалами, готовыми изделиями и конструкциями, а не круглым лесом.

Количество древесины, заготавливаемой в нашей стране, обеспечивает потребности в деревянных строительных конструкциях и деталях. При лесозаготовках и обработке древесины образуется

большое количество отходов, эффективное использование которых имеет большое хозяйственное значение. Изготовление из отходов древесины изоляционных древесноволокнистых, древесностружечных плит, широко применяемых в строительстве, позволяет экономить большое количество деловой древесины.

Хвойную древесину используют для изготовления основных элементов деревянных конструкций и строительных деталей. Из прямых высоких стволов хвойных деревьев с небольшим количеством сучков относительно небольшой величины можно получить прямослойные пиломатериалы с ограниченным количеством пороков. Хвойная древесина содержит смолы, благодаря чему она лучше сопротивляется увлажнению и загниванию, чем лиственная. Наиболее высоким качеством отличается сосновая древесина, особенно из северных районов страны, где деревья растут медленно и дают более прочную древесину. Еловая древесина близка по качеству к сосне, пихтовая и кедровая имеет несколько меньшую прочность. Древесина лиственницы по прочности и стойкости против загнивания превосходит сосновую, но имеет пониженную прочность на скалывание.

Лиственная древесина большинства пород имеет больше сучков и более подвержена загниванию, чем хвойная. Она почти не применяется для изготовления основных элементов деревянных строительных конструкций. Дубовая древесина выделяется среди лиственных пород повышенной прочностью и стойкостью против загнивания. Однако ввиду большей дефицитности и стоимости ее используют в строительных конструкциях только для небольших соединительных деталей. Березовая древесина относится тоже к твердым лиственным породам. Ее используют главным образом для изготовления строительной фанеры (нуждается в защите от загнивания). Осиновая, тополевая и другая древесина мягких лиственных пород имеет пониженную прочность и стойкость против загнивания и используется для изготовления малонагруженных элементов временных зданий и сооружений.

Лесоматериалы, предназначенные для строительства, делят на круглые и пиленые (рис. 1.1).

Круглые лесоматериалы (бревна) представляют собой части древесных стволов с гладко опиленными концами — торцами, очищенные от сучьев. Они имеют стандартные длины, равные 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 и 6,5 м. Более длинные бревна выпиливают только для опор линий электропередач и связи, а также по особым заказам. Бревна имеют естественную усеченно-коническую форму. Уменьшение их толщины по длине называется *сбегом*. В среднем сбеги составляет 0,8 см на 1 м длины бревна. Толщина бревна определяется диаметром его тонкого верхнего торца d . Средние бревна имеют толщину 14—24 см, а крупные — 26 см и более с градицией размеров через 2 см. Толщина бревна d_{cp} в середине его длины

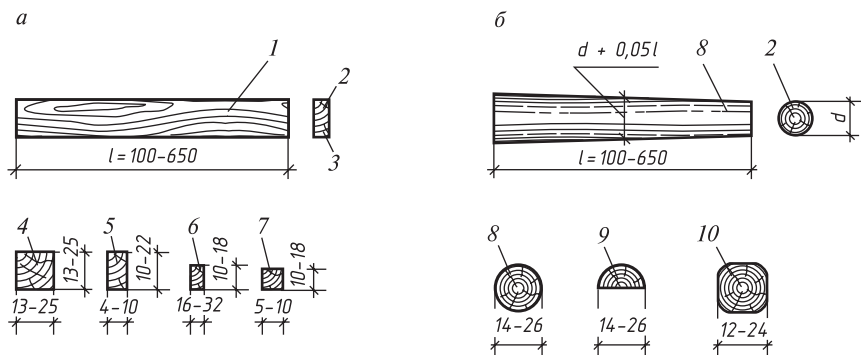


Рис. 1.1. Лесоматериалы:

а — пиленые; *б* — круглые; 1 — плеть; 2 — торец; 3 — кромка; 4 — брус; 5 — толстая доска; 6 — тонкая доска; 7 — брусок; 8 — бревно; 9 — пластина; 10 — бревно окантованное

l с учетом сбега может быть определена из выражения $d_{\text{ср}} = d + 0,4l$. Бревна толщиной 13 см и менее называют также *подтоварником* и применяют их для временных построечных сооружений. Круглые лесоматериалы используют в основном при построечном изготовлении деревянных конструкций.

Пиленые лесоматериалы (пиломатериалы) получают в результате продольной распиловки бревен на лесопильных рамах или круглопильных станках. Они имеют прямоугольное или квадратное сечение. Более широкие стороны пиломатериалов называют *пластями*, а узкие — *кромками*. Пиломатериалы с поверхностями, опиленными по всей длине, называют *обрезными*. Если часть поверхности не опилена в результате сбега бревна, материал называют *обзолным*. Если не опилены две поверхности пиломатериала при однократной распиловке бревна, его называют *необрезным*.

Пиломатериалы имеют стандартные длины от 1 до 6,5 м с градацией размеров через каждые 0,25 м. Их разделяют на доски, бруски и брусья. Рекомендуемые для несущих конструкций доски имеют ширину 60—250 мм, толщину — 11—100 мм; бруски — ширину 100—175 мм, толщину — 50—100 мм. Брусья имеют ширину, не превышающую полуторной толщины. Их толщина и ширина составляют 125—250 мм.

Пиломатериалы шириной или толщиной более 150 мм в центральных районах страны являются дефицитными, поэтому применяются ограниченно. Деревянные конструкции и строительные детали изготовляют, как правило, из пиломатериалов. Рекомендуемый сортамент пиломатериалов для несущих деревянных конструкций приведен в приложении 2.

Строение, пороки и качество древесины определяются ее происхождением. В результате растительного происхождения и усло-

вий произрастания дерева древесина имеет трубчатое *слоисто-волокнистое строение*. Основную массу древесины составляют древесные волокна, расположенные вдоль ствола. Они состоят из удлиненных пустотелых оболочек отмерших клеток — трахеидов — почти прямоугольной формы, средней шириной 50 мкм и длиной 3 мм из органических веществ (целлюлозы и лигнина).

Древесные волокна располагаются концентрическими слоями вокруг оси ствола, которые называют *годовичными слоями*, потому что каждый слой нарастает в течение года. Они хорошо заметны в виде ряда колец на поперечных разрезах стволов, особенно хвойных деревьев, и по их количеству можно определить возраст дерева. Каждый годичный слой состоит из двух частей. Внутренний более широкий и светлый слой образуется из мягкой ранней древесины весной, когда дерево растет быстро. Клетки ранней древесины имеют более тонкие стенки и широкие полости. Наружный узкий темный слой состоит из более твердой поздней древесины, образующейся летом. Клетки поздней древесины имеют более толстые стенки и узкие полости. Плотность и прочность древесины зависят от относительного содержания в ней поздней древесины, которое у сосны, например, колеблется от 10 до 30 % (рис. 1.2).

Средняя часть стволов сосны, кедра и лиственницы имеет более темный цвет, содержит больше смолы и называется *ядром*. Вокруг ядра расположена менее смолистая, но более прочная древесина, называемая *заболонью*. Кроме этих основных частей в древесине имеются горизонтальные сердцевинные лучи, мягкая сердцевина, смоляные ходы, сучки и снаружи она покрыта рыхлой корой.

Качество лесоматериалов определяется в основном степенью однородности строения древесины, от которой зависит ее прочность. Неоднородность строения древесины возникает в процессе роста дерева, хранения лесоматериалов на складах, сушки, обработки и в процессе эксплуатации конструкций. Степень однородности древесины определяется размерами и количеством участков,

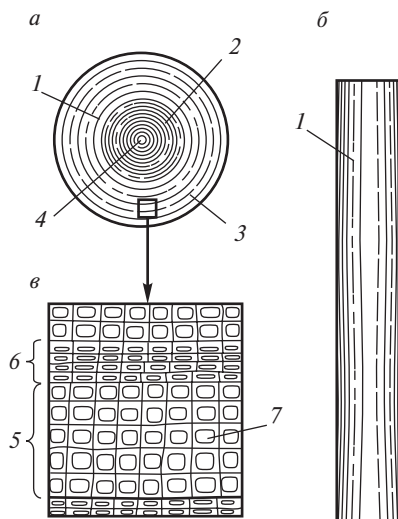


Рис. 1.2. Строение хвойной древесины:

a — поперечное сечение ствола; *б* — плоть доски; *в* — микроструктура; 1 — волокна древесины; 2 — ядро; 3 — заболонь; 4 — сердцевина; 5 — ранние годовые слои; 6 — поздние годовые слои; 7 — клетки—трахеиды

где однородность ее строения нарушена и прочность снижена. Такие участки называют *пороками*. Основными недопустимыми пороками древесины являются гниль, червоточина и трещины в зоне скалывания в соединениях. Наиболее распространенными и неизбежными пороками древесины являются сучки — заросшие остатки бывших ветвей дерева. Основные волокна древесного ствола, ранее образовавшие сучок, затем обходят его, отклоняясь в этом месте от своего продольного направления и образуя так называемый *завиток*. Сучки являются допускаемыми пороками, но их размеры строго ограничены.

Наклон волокон относительно оси элемента, называемый иногда *косослоем*, тоже является распространенным и допускаемым (с ограничениями) пороком. Он образуется в результате иногда возникающего природного винтообразного расположения волокон в стволе, а также при распиловке конусообразной формы стволов, так называемого *сбега*. Трещины, возникающие при высыхании древесины, тоже относятся к числу ограниченно допускаемых пороков. К порокам относятся также мягкая сердцевина, выпадающие сучки и другие менее распространенные нарушения однородности строения древесины.

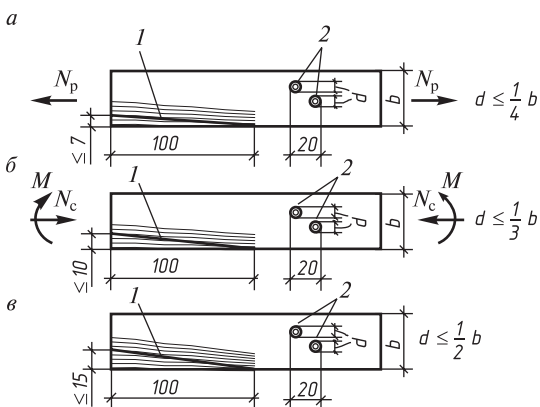
Качество конструкционных лесоматериалов определяется сортами (1, 2 и 3). Требования к древесине каждого сорта содержатся в ГОСТах. Основными факторами, определяющими сорт и соответственно прочность древесины, являются величина и расположение пороков, главным образом сучков и наклона волокон в элементе. Например, в наиболее прочной древесине 1-го сорта допускаются сучки общим диаметром на длине 20 см, не более четверти ширины пласти доски — $d \leq 1/4 b$ и наклон волокон не более 7 %.

В древесине средней прочности 2-го сорта допускается относительно большая общая ширина сучков — $d \leq 1/3 b$ и наклон волокон не более 10 % к оси. В наименее прочной древесине 3-го сорта допускаются сучки еще большей ширины — $d \leq 1/2 b$ и наклон волокон не более 15 % (рис. 1.3).

Кроме того, в конструкционной древесине ширина годовых слоев должна быть не более 5 мм и поздняя наиболее прочная древесина должна составлять не менее 1/5 их ширины. В досках, работающих на ребро при изгибе, не допускается рыхлая сердцевина. В зонах соединений не должно быть трещин.

Древесину 1-го сорта, наиболее прочную, рекомендуется применять для изготовления ответственных элементов конструкций, работающих на растяжения, и растянутых зон высоких клеедеревянных балок, древесину средней прочности 2-го сорта — для прочих элементов несущих строительных конструкций, наименее прочную древесину 3-го сорта — в малонапряженных настилах и обшивках.

Рис. 1.3. Сорты пиломатериалов по качеству древесины, определяемому основными пороками:
a, б, в — 1, 2 и 3-й сорта;
 1 — наклон волокон; 2 — сучки



Свойства древесины определяются в основном ее строением. Древесина по своей массе относится к классу легких конструктивных материалов. Ее малая масса объясняется трубчато-волокнистым строением и зависит от относительного объема отверстий и содержания в них влаги, кроме воздуха. Плотность древесины определяется при относительной влажности 12%. Она различна в пределах одной породы и одного ствола.

Свежесрубленная древесина сосны и ели имеет плотность 850 кг/м³. Расчетная плотность этой древесины в составе конструкций, эксплуатируемых в помещениях с нормальной влажностью воздуха, принимается равной 500 кг/м³, в помещениях с влажностью воздуха более 75% и на открытом воздухе — 600 кг/м³ (см. приложение 3).

Древесина является среднепрочным анизотропным конструкционным материалом, однако ее относительная прочность с учетом малой собственной массы позволяет применять ее в несущих конструкциях больших пролетов. Прочность древесины определяется ее трубчато-волокнистым анизотропным строением и зависит от породы, расположения в стволе и процентного содержания наиболее прочной поздней древесины.

Прочность древесины в значительной степени зависит от направления действия усилий по отношению к направлению волокон. При действии усилий вдоль волокон оболочки клеток работают в самых благоприятных условиях и древесина имеет наибольшую прочность. Например, средний предел прочности древесины сосны без пороков составляет при растяжении 100 МПа, при изгибе — 75 МПа и при сжатии — 40 МПа.

При действии же усилий поперек волокон они легко сплющиваются или расслаиваются, поэтому прочность древесины при растяжении, сжатии и скалывании в этом случае не превышает 6,5 МПа. Неоднородность строения, наличие пороков значитель-

но (примерно на 30 %) снижают прочность древесины при сжатии и изгибе, а особенно (примерно на 70 %) при растяжении.

Длительность действия нагрузки существенно влияет на прочность древесины. При неограниченно длительном нагружении ее прочность, характеризуемая пределом длительного сопротивления, составляет только 0,5 от предела прочности при стандартном кратковременном нагружении. Наибольшую прочность, в 1,5 раза превышающую кратковременную, древесина имеет при кратчайших ударных и взрывных нагрузках.

Вибрационные нагрузки, вызывающие в древесине переменные по знаку напряжения, тоже снижают ее прочность. Предел выносливости, при котором древесина может выдерживать неограниченное количество циклов таких нагрузок, составляет 0,2 от предела прочности.

Жесткость и твердость древесины относительно невелики ввиду ее трубчато-волокнутого строения. *Жесткость* — степень деформативности древесины при действии нагрузок — существенно зависит от направления этих нагрузок по отношению к волокнам и их длительности, а также от влажности древесины. *Деформации* древесины бывают упругие (от кратковременных нагрузок), эластичные и остаточные (от длительных нагрузок). Упругие деформации исчезают вскоре после разгрузки, эластичные тоже исчезают через некоторый период времени, а остаточные остаются навсегда. Например, балки, прогнувшиеся во время длительной эксплуатации, не могут быть выпрямлены полностью при разгрузке.

Жесткость древесины определяется модулем упругости E . Его величина колеблется в значительных пределах и у лабораторных образцов древесины хвойных пород вдоль волокон достигает 15 000 МПа. Модуль упругости реальной древесины любой породы в 1,5 раза ниже и принимается для конструкций, эксплуатируемых в нормальных температурно-влажностных условиях, равным 10^4 МПа. При повышенной влажности и на открытом воздухе он снижается коэффициентами от 0,9 до 0,75 в соответствии с табл. 15 СНиП II-25 — 80. Жесткость древесины при действии нагрузок поперек и под углом к волокнам в 50 раз ниже.

Соответственно мала и *твердость* древесины, которая выражается в ньютонах нагрузки, требуемой для вдавливания стальной полусферы радиусом 5,64 мм. Для древесины сосны поперек годичных слоев она равна только 1000 Н. Это свойство облегчает обработку древесины, но делает ее поверхность легко повреждаемой. Малая твердость и волокнутое строение дают возможность относительно легко забивать гвозди в древесину, которые прочно удерживаются окружающими волокнами, раздвинутыми острием гвоздей.

Влажность древесины оказывает значительное влияние на ее свойства. Влажность древесины w — это процентное содержание

свободной воды в полостях и гигроскопической воды в порах древесины. Наибольшую влажность (до 200 %), набранную в период пребывания в воде, имеет сплавная древесина. Влажность до 100 % имеет свежесрубленная древесина. В процессе хранения на складах, естественной и искусственной сушки влажность древесины снижается до 40, 25, 20 и 10 %. Степень влажности значительно влияет на качество деревянных конструкций и строго ограничивается в зависимости от условий их изготовления и эксплуатации.

Древесину неограниченно высокой влажности можно использовать только для конструкций, постоянно соприкасающихся с водой. Из древесины влажностью до 40 % можно изготавливать конструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе, влажностью до 25 % — конструкции, эксплуатируемые в помещениях с повышенной влажностью и соприкасающиеся с грунтом. Из древесины влажностью до 20 % можно изготавливать также неклееные конструкции, эксплуатируемые в любых условиях, а влажностью 8—12 % — любые конструкции, в том числе клееные.

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 тангентальном направлении — параллельно годичным слоям и достигают 10 %. Наименьшие усушка и разбухание, не превышающие 0,3 %, происходят вдоль волокон. При дальнейшем увеличении влажности более 30 % за счет свободной влаги усушка и разбухание не наблюдаются.

Высыхание деревянного элемента и развитие деформаций усушки происходят неравномерно от поверхности к центру. Этот факт, а также разница величин радиальной и тангентальной усушки приводят к возникновению значительных остаточных напряжений растяжения в наружных и сжатия во внутренних частях элемента поперек волокон и в результате происходят коробление и растрескивание древесины (рис. 1.4).

Коробление бывает продольным и поперечным. Поперечное коробление проявляется в форме превращения квадратного сечения бруса в прямоугольное или ромбическое, а прямоугольного сечения доски — в желобчатое, изогнутое в сторону наружных годовых колец. Продольное коробление проявляется в форме выгиба досок по длине, а наличие наклона волокон по длине в доске приводит к тому, что она принимает винтообразную форму.

Растрескивание древесины происходит в том случае, когда внутренние напряжения превышают малый предел прочности на растяжение поперек волокон и появляются наружные и внутренние трещины радиального направления.

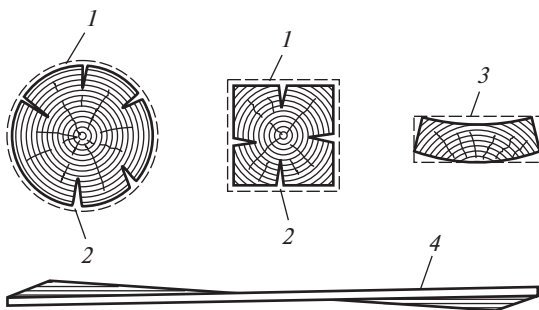


Рис. 1.4. Деформации лесоматериалов при усушке:

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.

Для сравнения показателей прочности и жесткости древесины независимо от ее влажности установлено значение стандартной влажности, равное 12 %. При испытании образцов древесины, имеющих нестандартную влажность $w = 8 - 23 \%$, предел их прочности или другой показатель B_w должен быть приведен к его значению при стандартной влажности B_{12} с учетом коэффициента α , равного для сжатия и изгиба 0,04, по формуле

$$B_{12} = B_w [1 + \alpha(w - 12)].$$

Влияние температуры на древесину и ее теплопроводность различны. При повышении температуры предел прочности и модуль упругости снижаются и повышается хрупкость древесины. Например, предел прочности при сжатии древесины сосны, нагретой от 20 до 50 °С, уменьшается в среднем до 70 %, а при нагревании до 100 °С — до 30 % от начального.

Предел прочности древесины σ_t при температуре t в пределах от 10 до 50 °С можно определить, исходя из ее начальной прочности σ_{20} при температуре 20 °С с учетом поправочного коэффициента β , равного, например, для сосновой древесины при сжатии 3,5 МПа, по формуле

$$\sigma_t = \sigma_{20} - \beta(t - 20).$$

При отрицательных температурах влага в древесине превращается в лед и прочность ее при сжатии возрастает, например, до 25 %, однако она становится более хрупкой и в ней развиваются трещины.

Температурные деформации древесины определяются коэффициентом линейного расширения α . Вдоль волокон древесины этот коэффициент очень мал и не превышает $5 \cdot 10^{-6}$, что позволяет строить деревянные здания без температурных швов. Поперек волокон древесины этот коэффициент больше в 7—10 раз.

Теплопроводность древесины благодаря ее трубчато-пористому строению очень мала, особенно поперек волокон. Коэффициент теплопроводности сухой древесины поперек волокон равен в среднем $\lambda = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$. Малая теплопроводность делает древесину эффективным материалом для легких ограждающих конструкций зданий. Теплоемкость древесины значительна, и для сухой древесины в среднем ее коэффициент $C = 1,6 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$.

Строительная фанера является листовым древесным строительным конструкционным материалом. Она состоит из нечетного числа тонких слоев — шпонов — толщиной около 1 мм из древесины березы или лиственницы. Волокна соседних шпонов располагаются во взаимно перпендикулярных направлениях. Наружные шпоны — *рубашки* — имеют взаимно параллельное направление волокон, вдоль которого измеряют длину листов. Средние шпоны называют *срединками*. В строительных конструкциях применяют фанеру клееную и бакелизованную.

Клееная фанера (рис. 1.5) состоит из слоев древесины (шпонов), которые склеивают между собой водостойкими клеями, например фенолформальдегидным. Получается водостойкая фанера марки ФСФ. При склеивании шпонов клеями типа карбамидных получается средневодостойкая фанера марки ФК, использование которой допускается только в помещениях без повышенной влажности воздуха. Водостойкую фанеру применяют в конструкциях зданий всех групп влажности воздуха. Листы клееной фанеры имеют толщину 6—12 мм. Наибольшее распространение в конструкциях находят листы семислойной фанеры толщиной 8, 9, 10 и 12 мм. Листы имеют длину 2440, 2135, 1525, 1220 мм и ширину 1525, 1220 и 725 мм.

Листовая форма является одним из главных преимуществ фанеры по сравнению с другими лесоматериалами. Благодаря этому ее с успехом применяют для изготовления легких эффективных покрытий и стен, а также емкостей и опалубки. Перекрестное расположение волокон слоев придает фанере меньшую анизотропию свойств в плоскости листов, чем у древесины, малую усушку и разбухание при колебаниях влажности, как у древесины вдоль волокон.

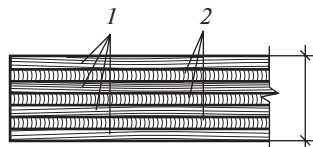


Рис. 1.5. Строительная фанера (деталь сечения): 1, 2 — соответственно продольные и поперечные слои

Прочность клееной фанеры вдоль волокон наружных слоев существенно выше, чем поперек, так как слоев с продольным направлением волокон на один больше, и наружные слои располагаются в зоне максимальных напряжений при изгибе. Прочность клееной фанеры при срезе по плоскостям сечений в 2,5 раза превышает прочность древесины при скалывании вдоль волокон, что является ее большим преимуществом. Прочность клеевых соединений фанеры при скалывании мала и не превышает $2/3$ прочности хвойной древесины при скалывании поперек волокон. Влияние пороков на прочность фанеры относительно ниже, чем в древесине, так как совпадение пороков, расположенных в отдельных слоях, маловероятно.

Влажность фанеры повышенной водостойкости не превышает 12 %, а средней — 15 %. Жесткость фанеры, характеризуемая модулем упругости, определяется главным образом слоями, работающими вдоль волокон, и составляет для фанеры толщиной 8 мм и более около 90 % от жесткости древесины вдоль и 70 % поперек волокон.

Бакелизированная фанера имеет такое же строение, как и клееная, однако ее наружные слои не только склеивают со средними, но и пропитывают водостойкими синтетическими спирторастворимыми смолами. Листы фанеры имеют толщину 5—18 мм, длину 1500—7700 мм и ширину 1200—1500 мм. Она отличается от клееной фанеры более высокой водостойкостью и прочностью и применяется в конструкциях, работающих в особо неблагоприятных влажностных условиях. Прочность бакелизированной фанеры при нормальных напряжениях вдоль листов более чем в 2,5 раза, а поперек почти в 2 раза превышает прочность хвойной древесины вдоль волокон. Ее сопротивление срезу в 4,5 раза, а скалыванию в 1,5 раза выше сопротивления скалыванию древесины вдоль волокон. Жесткость бакелизированной фанеры поперек волокон наружных слоев близка к жесткости древесины вдоль волокон, а вдоль волокон наружных слоев в 1,5 раза выше.

В настоящее время в нашей стране фанеру производят не только из древесины березы, но и хвойных пород.

Защита деревянных конструкций от гниения имеет важное значение для обеспечения их необходимой долговечности в любых условиях эксплуатации.

Гниение — это разрушение древесины простейшими растительными организмами — дроворазрушающими грибами, для которых она является питательной средой. Некоторые лесные грибы поражают еще растущие и высыхающие в лесу деревья. Складские грибы разрушают лесоматериалы во время хранения их на складах. Домовые грибы — мерулиус, кониофора, пория и др. — разрушают древесину строительных конструкций в процессе их эксплуатации.

Грибы развиваются из зародышевых клеток-спор микроскопических размеров, которые легко переносятся движением воздуха. Прорастая, споры в виде тонких нитей-гифов, которые сплетаются в шнуры и пленки-грибницы, образуют плодовое тело гриба — источник новых спор. Гифы древоразрушающих грибов, проникая в древесину, образуют отверстия в клеточных оболочках и затем растворяют их выделяемыми ферментами — разрушителями целлюлозы. При этом древесина окрашивается в бурый цвет, покрывается трещинами и распадается на призматические кусочки, полностью теряя свою прочность.

Гниение как результат жизнедеятельности растительных организмов невозможно без определенных благоприятных условий. Температура должна быть умеренно положительной, не выше 50 °С. При отрицательной температуре жизнь грибов замирает, но может возобновиться вновь при потеплении. Прекращается рост грибов при температуре более 50 °С, а при температуре более 80 °С плодовые тела, грибница и споры грибов погибают. Наименьшая влажность древесины, на которой могут расти грибы, составляет 20 %. В более сухой древесине жизнь грибов прекращается.

Присутствие воздуха также необходимо для роста грибов. Древесина, полностью насыщенная водой или находящаяся в воде без доступа воздуха, гниению не подвергается. Невозможна жизнедеятельность грибов также в среде ядовитых для них веществ.

Защита от гниения имеет важнейшее значение для обеспечения долговечней службы деревянных конструкций. Она состоит в том, что исключается одно из перечисленных выше условий, необходимых для жизнедеятельности грибов. Изолировать древесину от попадания в нее спор, от окружающего воздуха и положительной температуры в большинстве случаев практически невозможно. Можно только уничтожить грибы и их споры высокой температурой, не допустить повышения ее влажности до опасного уровня или пропитать ее ядовитыми для грибов веществами. Это и достигается путем стерилизации, конструктивной и химической защиты древесины от гниения.

Стерилизация древесины происходит естественно в процессе искусственной, особенно высокотемпературной, сушки. Прогрев древесины при температуре выше 80 °С приводит к гибели всех присутствующих в ней спор домовых грибов. Такая древесина гораздо дольше сопротивляется загниванию и должна в первую очередь применяться в конструкциях.

Конструктивная защита древесины от гниения (рис. 1.6) обеспечивает такой режим эксплуатации конструкций, при котором ее влажность не превышает благоприятного для загнивания уровня. Защита древесины закрытых помещений от увлажнения атмосферными осадками достигается полной водонепроницаемостью кровли, выполненной из высококачественных материалов. Кров-

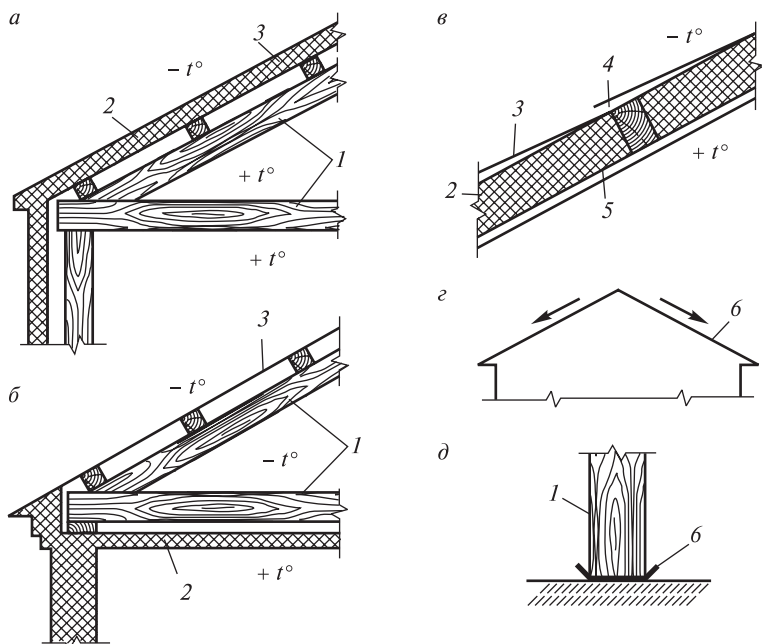


Рис. 1.6. Конструктивная защита древесины от гниения:

а — бесчердачное утепленное покрытие; *б* — чердачное утепленное перекрытие; *в* — защита от конденсационной влаги; *г* — то же, от атмосферных осадков; *д* — то же, от капиллярной влаги; 1 — конструкции; 2 — теплоизоляция; 3 — кровля; 4 — продух; 5 — пароизоляция; 6 — гидроизоляция

ля должна иметь необходимые уклоны, и в ней не должно быть внутренних водостоков и ендов. Защита древесины от увлажнения капиллярной влагой осуществляется отделением ее от бетонных, каменных или металлических конструкций слоями гидроизоляции. Деревянные конструкции должны опираться на фундаменты выше уровней пола на 15 см и грунта на 50 см. Защита древесины от увлажнения парами воздуха достигается тем, что в помещениях с влажностью более 60 % поверхность ее изолируется водостойкими лакокрасочными материалами, например ПФ-115, УР-175 и др.

Защита древесины от конденсационной влаги имеет очень важное значение. Эта влага возникает в холодное время года в толще теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций отапливаемых помещений в результате конденсации водяных паров. Такое увлажнение происходит длительное время и не всегда может быть обнаружено. Для защиты от проникновения в конструкцию водяных паров со стороны помещения укладывается слой пароизоляции. Основные несущие конструкции помещаются вне зоны

перепада температур или полностью внутри помещения ниже слоя теплоизоляции или вне его, например в холодном помещении чердака выше утепленного чердачного перекрытия. Хорошее проветривание древесины благоприятно для ее естественного высыхания в процессе эксплуатации. Для этого делают осушающие продухи в толще конструкций, сообщающиеся с наружным воздухом. Естественные продухи образуются между листами асбестоцементной кровли. Элементы основных конструкций следует проектировать без зазоров и щелей, где может застаиваться влажный воздух.

Химическая защита древесины необходима в тех случаях, когда ее увлажнение в процессе эксплуатации неизбежно. Конструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе, в земле, в толще ограждающих конструкций зданий и в других случаях, например конструкции мостов, мачт, свай, неизбежно увлажняются атмосферной, грунтовой или конденсационной влагой. Химическая защита таких конструкций от загнивания заключается в пропитке или покрытии их ядовитыми для грибов веществами — антисептиками. Они бывают водорастворимыми и маслянистыми.

Водорастворимые антисептики — это вещества, не имеющие цвета и запаха, безвредные для людей, например фтористый и кремнефтористый натрий. Их используют для защиты древесины в закрытых помещениях, где возможно пребывание людей и нет опасности вымывания антисептиков водой. Существуют и другие виды водорастворимых антисептиков, некоторые из них ядовиты и для людей.

Маслянистые антисептики представляют собой некоторые минеральные масла — каменноугольное, антраценовое, сланцевое, древесный креозот и др. Они не растворяются в воде, очень ядовиты для грибов, однако имеют сильный неприятный запах и вредны для здоровья людей. Эти антисептики не вымываются водой и применяются для защиты от гниения конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе, в земле и над водой. Защищенные маслянистыми антисептиками конструкции успешно служат десятки лет в условиях, где незащищенные конструкции разрушаются гнилостными грибами за два-три года. Внесение в древесину антисептиков производят различными методами.

Пропитка древесины под давлением наиболее эффективна. При этом древесина влажностью не более 25 % выдерживается в растворе антисептика внутри стального автоклава под высоким (до 14 МПа) давлением, в результате чего антисептик проникает в нее на достаточную глубину. Пропитка древесины в горячих ваннах тоже дает достаточный эффект при меньшей стоимости. При этом древесина выдерживается сначала в горячей, а затем в холодной ванне с раствором антисептика без повышенного давления. Поверхностное антисептирование заключается в нане-

сении на поверхность древесины эксплуатируемых конструкций горячего антисептического раствора или густой антисептической пасты. Подробные указания по защите древесины от загнивания содержатся в специальной инструкции. Применение древесины, не защищенной от гниения, в благоприятных для загнивания условиях недопустимо.

Поражение насекомыми может тоже служить причиной разрушения древесины. Для деревянных конструкций наиболее опасны жуки-точильщики. Их личинки, питаясь главным образом древесиной, прогрызают в ней многочисленные отверстия, соответственно снижая ее прочность. Для защиты от жуков-точильщиков эффективны только температурный и химический способы. Нагрев древесины до температуры выше 80 °С приводит к гибели этих вредителей. Химическая защита древесины от загнивания, особенно маслянистыми антисептиками, одновременно надежно защищает ее и от жуков-точильщиков. Для истребления жуков и их личинок в древесине эксплуатируемых конструкций применяется окуливание ее ядовитыми газами и вспрыскивание в ходы жуков растворов ядовитых веществ, например гексахлорана или ДДТ.

Защита деревянных конструкций от возгорания, горения и пожаров имеет общегосударственное значение.

Возгорание и горение древесины происходит в результате ее нагрева до температуры, при которой начинается ее термическое разложение с образованием горючих газов, содержащих углерод. Таким образом, древесина как органический материал сгораема. Однако благодаря малой теплопроводности горение крупных элементов долго ограничивается наружными слоями и они имеют достаточный предел огнестойкости — очень важный показатель для успешного тушения пожара. Он определяется временем, при котором нагруженный элемент сохраняет несущую способность при температуре пожара. Деревянные элементы крупных сечений имеют более высокие пределы огнестойкости, чем остальные. Например, брусчатая балка сечением 17×17 см, нагруженная до напряжения 10 МПа, имеет предел огнестойкости 40 мин, в течение которых могут быть приняты меры для тушения огня.

Возгорание древесины и распространение огня невозможно без определенных благоприятных условий. Длительное нагревание при температуре 150 °С или быстрое при более высокой температуре может привести к воспламенению древесины. Окружающий воздух обогащает процесс горения кислородом и способствует распространению пламени. Элементы конструкций, состоящие из отдельных досок с зазорами между ними, быстрее нагреваются до опасного предела, чем монолитные, имеют большие поверхности соприкосновения с воздухом и смежные поверхности, взаимно обогреваемые лучистым нагревом. В результате их предел огнестойкости значительно ниже, чем у монолитных элементов.

Целью защиты от возгорания является повышение предела огнестойкости деревянных конструкций, с тем чтобы они дольше сопротивлялись возгоранию и в процессе горения не создавали и не распространяли открытого пламени. Это достигается мероприятиями конструктивной и химической защиты деревянных конструкций от возгорания.

Конструктивная защита древесины от возгорания заключается в ликвидации условий, благоприятных для возникновения и распространения огня. В конструкциях производственных зданий с горячими процессами применение древесины недопустимо. Деревянные конструкции должны быть отделены от печей и нагревательных приборов достаточными расстояниями или огнестойкими материалами. Для предотвращения распространения огня деревянные строения должны быть разделены на части противопожарными преградами и зонами из огнестойких конструкций. Деревянные ограждающие конструкции не должны иметь сообщающихся полостей с тягой воздуха, по которым может распространяться пламя, не доступное для тушения. Элементы деревянных конструкций должны быть массивными клееными или брусчатыми, имеющими большие пределы огнестойкости, чем дощатые. Обыкновенная штукатурка значительно повышает сопротивление деревянных стен и потолков возгоранию.

Химическая защита от возгорания производится в тех случаях, когда от ограждающих деревянных конструкций требуется повышенная степень огнестойкости, например в помещениях, где находятся легковоспламеняющиеся материалы. Она заключается в противопожарных пропитках и окраске. Для огнезащитной пропитки древесины применяют вещества, называемые *антипиренами*. Эти вещества, введенные в древесину, при опасном нагреве плавятся или разлагаются, покрывая ее огнезащитными пленками или газовыми оболочками, препятствующими доступу кислорода к древесине, которая при этом может только медленно разлагаться и тлеть, не создавая открытого пламени и не распространяя огня. Пропитка древесины производится с одновременной пропиткой антисептиками. Защитные краски на основе жидкого стекла, суперфосфата и других веществ наносятся на поверхность древесины. При нагревании во время пожара пленки их вздуваются от выделяемых газов и создают воздушную прослойку, временно препятствующую возгоранию.

Защита деревянных конструкций зданий с химически агрессивной средой имеет большое значение для обеспечения необходимого срока их нормальной эксплуатации. При воздействии химически агрессивных веществ — кислот, щелочей, солей — в жидком, твердом или газообразном состоянии происходит коррозия древесины и ее разрушение. Жидкие и твердые вещества действуют на древесину непосредственно, а газообразные — лишь

на влажную поверхность древесины, образуя на ней химически агрессивные растворы. Пыль некоторых веществ, например калийных солей, осаждается в порах и щелях древесины, расширяется при увлажнении и ослабляет связи между ее волокнами.

Активность процесса коррозии древесины зависит от степени концентрации агрессивной среды и ее температуры. Слабая агрессивная среда, например минеральные кислоты концентрации до 5 % и пыль калийных солей, оказывает лишь незначительное поверхностное агрессивное воздействие на древесину и практически не снижает прочности деревянных конструкций. В таких средах древесина является химически стойким материалом, гораздо более долговечным, чем металл, бетон и железобетон, для которых эти среды химически агрессивны. Средние и сильные агрессивные среды, например минеральные кислоты концентрации выше 5 %, оказывают разрушительное воздействие на древесину тем более активное, чем выше их концентрация и температура. При этом древесина приобретает сначала цветную, затем темную окраску, растворяются целлюлоза и лигнин, нарушаются связи между волокнами и прочность древесины резко уменьшается.

Защита древесины от коррозии заключается в устранении разрушающего влияния этого процесса путем конструктивных и защитных мероприятий.

Конструктивная защита от коррозии является в большинстве случаев достаточной для конструкций, эксплуатируемых в слабых химически агрессивных средах. Деревянные конструкции в этих условиях должны изготавливаться из смолистой хвойной древесины, лучше сопротивляющейся проникновению агрессивных веществ. Элементы конструкций должны иметь крупные клееные или брусчатые сечения с минимальной поверхностью контакта с окружающей средой. Они должны иметь минимальное количество узловых соединений и металлических креплений. Там, где агрессивные вещества присутствуют в виде пыли, например в складах калийных удобрений, конструкции не должны иметь пазов и горизонтальных поверхностей, удобных для оседания пыли. Этим требованиям отвечают в первую очередь сплошные клееные деревянные конструкции.

Защитные покрытия используют в дополнение к указанным конструктивным мероприятиям. Деревянные конструкции, эксплуатируемые в условиях слабой химически агрессивной среды, дополнительно защищают лакокрасочными покрытиями, изолирующими древесину от окружающей среды. Для этого используют краски, лаки и эмали, стойкие к данной агрессивной среде. Деревянные конструкции, эксплуатируемые в средних и сильных агрессивных средах, должны быть изолированы от соприкосновения с ними герметичными оболочками из химически стойких материалов.

1.2. Конструкционные пластмассы

Конструкционные пластмассы в строительстве применяют в составе элементов несущих и ограждающих строительных конструкций. Основой этих материалов являются синтетические полимерные смолы — продукты промышленности химических органических материалов. К ним относятся стеклопластики, пенопласты, оргстекло, винипласт, воздухо- и водонепроницаемые ткани и пленки и древесные пластики, синтетические клеи.

Из наиболее прочных стеклопластиков, расчетное сопротивление сжатию и растяжению которых достигает 100 МПа, выполняют основные элементы несущих строительных конструкций. Прозрачные стеклопластики используют в качестве светопрозрачных элементов ограждающих конструкций зданий. Из особо прозрачного оргстекла и прозрачного винипласта изготавливают прозрачные части ограждений, пропускающие все части солнечного спектра. Сверхлегкие пенопласты применяют в средних слоях легких ограждений покрытий и стен. Прочные, тонкие воздухо- и водонепроницаемые ткани используют в пневматических и тентовых покрытиях. Из полимерных пленок осуществляют временные покрытия закрытого грунта. Древесные пластики могут служить материалом для конструкций, работающих на открытом воздухе.

К положительным свойствам этих материалов относятся: малая плотность, не превышающая 1500 кг/м³, химическая стойкость в некоторых агрессивных средах; влагостойкость и неподверженность гниению. В процессе изготовления им можно придать ряд требуемых свойств и сделать элементы конструкций любой требуемой формы.

Основными недостатками конструкционных пластмасс является их малая жесткость (модуль упругости не превышает 10⁴ МПа) и, следовательно, повышенная деформативность, не позволяющая полностью использовать их прочность. Сгораемость данных материалов ограничивает их применение в основных несущих конструкциях. Малая поверхностная твердость ведет к легкой повреждаемости конструкций. Ползучесть и старение в процессе эксплуатации приводит к повышению прогибов и уменьшению прозрачности ограждающих конструкций.

В состав конструкционных пластмасс входит ряд компонентов.

Синтетические смолы являются основными компонентами пластмасс. Они образуют основную массу материалов, служат связующими аналогично цементному раствору в бетоне и делятся на два основных класса — термопластичные и термореактивные.

Термопластичные смолы (полиметилметакрилат, поливинилхлорид, полистирол, полиэтилен и др.) после завершения процесса синтеза и превращения в твердую стеклообразную массу способны под действием нагрева размягчаться, переходя в вязко-

текущее состояние, а при охлаждении вновь возвращаться к твердому состоянию. Термопластичные смолы используют для изготовления листовых материалов (органическое стекло, винипласт), клеев для их склеивания, пенопластов, пленок.

Термореактивные смолы переходят из вязкотекучего в твердое состояние только один раз — в процессе отверждения. Этот процесс происходит под воздействием отвердителя или при нагреве или одновременно того и другого. После завершения процесса отверждения термореактивный материал не размягчается при последующем нагреве, а лишь незначительно теряет прочность и жесткость. В конструкционных пластмассах строительного назначения применяют следующие термореактивные смолы: фенолформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные, мочевиноформальдегидные. Термореактивные смолы широко используют для изготовления фанеры, стеклопластиков, пенопластов, клеев, древесных пластиков, различных фасонных деталей.

При формировании полимера применяют и такие материалы, как отвердители, ускорители (вещества, ускоряющие отверждение), катализаторы (вещества, не участвующие в отверждении, но присутствие которых необходимо для протекания процесса отверждения), пластификаторы (вещества, уменьшающие хрупкость готового материала), ингибиторы (вещества, замедляющие процесс отверждения) и др.

Для улучшения механических и технологических свойств, повышения теплостойкости, снижения стоимости в пластмассовые материалы вводят наполнители неорганического и органического происхождения в виде порошков, волокон, листов (древесная мука, цемент, стеклянные и асбестовые волокна, бумага, хлопчатобумажные и стеклянные ткани и т. п.).

Пластмассовые материалы окрашивают путем введения красителей в массу материала. Для того чтобы получить нужный рисунок и цвет, необходимо предварительно нанести их на наружный слой листового наполнителя (бумагу, ткань).

Порообразователи служат добавками для получения газонаполненных материалов — пенопластов.

Наряду с пластмассами в конструкциях широко используют такие неорганические материалы, как алюминий, плакированную (защищенную) сталь, асбестоцемент.

Стеклопластик представляет собой материал, состоящий из двух основных компонентов: синтетического связующего и стеклянного волокна (наполнителя). Сущность изготовления стеклопластика состоит в том, что в неотвержденную смолу вводят стекловолокно, а затем смолу подвергают отверждению. Синтетическое связующее придает монолитность и обеспечивает стабильность формы готового стеклопластика; обеспечивает использование высокой прочности стекловолокна путем равномерного распределе-

ния усилий между волокнами и обеспечения их устойчивости, защиту волокон от атмосферных и других внешних воздействий; воспринимает часть усилий, возникающих в эксплуатационных условиях.

В стеклопластиках чаще всего используют терморезактивные смолы (полиэфирную, эпоксидную, фенолформальдегидную) с различными модифицирующими добавками, улучшающими технологические и эксплуатационные свойства стеклопластика.

Стекловолоконное волокно, или стекловолокно, — это армирующий элемент, который обеспечивает стеклопластикам большую прочность и стойкость против ударов. Стекловолокно получается из расплавленной стеклянной массы специального состава, протянутой через мельчайшие отверстия — фильеры. Оно имеет микроскопический диаметр около 10 мкм, очень высокую прочность, достигающую 2000 МПа, и применяется в рубленом или непрерывном виде (см. приложение 4).

Рубленое стекловолокно — это масса коротких (до 50 мм) нарубленных из непрерывных, хаотически расположенных стекловолокон. Непрерывное стекловолокно — это волокна и нити, жгуты и ткани из него неограниченной длины.

Стойкость стеклопластиков против старения в атмосфере — появления трещин, снижения прочности и светопрозрачности — является вполне достаточной. После 20 лет эксплуатации на открытом воздухе никаких изменений в них не отмечается.

Стеклопластики бывают сгораемыми и трудносгораемыми. Специальные добавки в смолу придают им свойство самозатухания. Они могут быть светопрозрачными и светонепрозрачными. Стеклопластики разделяют на две группы: на основе рубленого или непрерывного волокна.

Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна являются изотропными материалами, одинаково прочными во всех направлениях благодаря хаотичному расположению коротких стекловолокон в их массе. Они имеют плотность до 1500 кг/м³, прочность при растяжении 150 МПа. Такая невысокая прочность по сравнению с высокой прочностью стекловолокна объясняется тем, что параллельно действию растягивающего усилия в нем располагается только незначительная часть наиболее напряженных коротких стекловолокон, а остальные направлены под разными углами и напряжены меньше. Кроме того, в работе на растяжение принимает участие менее прочная смола, через которую передается напряжение от одних волокон к другим.

Положительными качествами стеклопластиков на основе рубленых волокон являются простота их изготовления благодаря хаотичному расположению стекловолокна, относительно низкая стоимость, прозрачность.

Прозрачный стеклопластик, выпускаемый в нашей стране, состоит из прозрачной полиэфирной термореактивной смолы и рубленого стекловолокна в количестве около 25 % по массе. Он имеет высокий коэффициент светопропускания (0,85), что достигается примерно одинаковыми значениями коэффициентов преломления света полиэфирной смолы и стекловолокна. Свет при этом пропускается рассеянно, обеспечивая равномерную освещенность помещений. Такой стеклопластик может быть бесцветным или иметь любую требуемую окраску.

Прозрачный стеклопластик выпускают в форме волнистых и плоских листов толщиной $\delta = 1,5 - 2,5$ мм, шириной до 1,5 м и длиной до 6 м. Волны имеют шаг $b_{\text{в}} = 60 - 200$ мм, высоту $h_{\text{в}} = 14 - 54$ мм и могут располагаться вдоль или поперек листа (рис. 1.7). В последнем случае лист может иметь длину, достигающую десятков метров, и свертываться в рулон. Эти размеры волн увязаны с размерами волн асбестоцементных и алюминиевых волнистых листов, что обеспечивает возможность их совместного применения.

Основным преимуществом прозрачного стеклопластика по сравнению с прочими листовыми материалами является его светопрозрачность, а по сравнению с листовым стеклом — отсутствие хрупкости и большая простота крепления. Его используют в виде отдельных волнистых листов, ребристых плит и панелей для

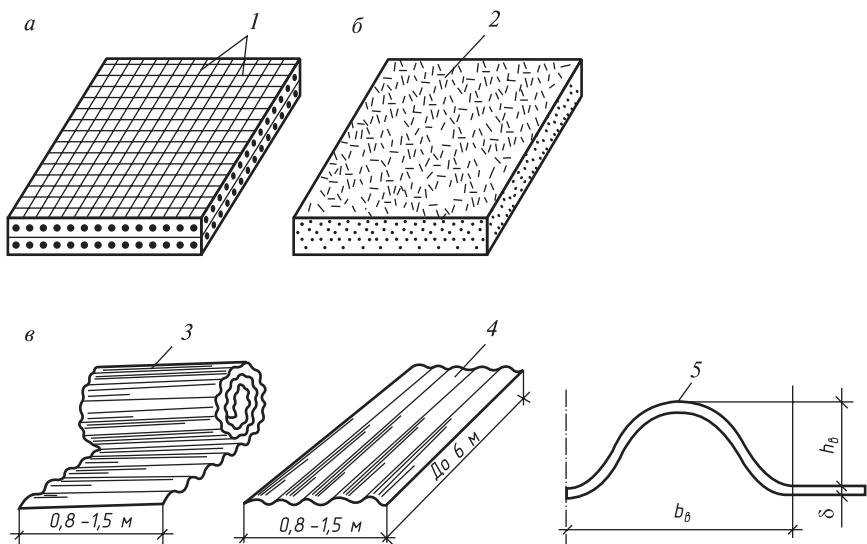


Рис. 1.7. Стеклопластики:

a, б — плоский; *в* — волнистый; *1* — непрерывное стекловолокно; *2* — рубленое стекловолокно; *3* — поперечные волны; *4* — продольные волны; *5* — сечение волны

создания светопроницаемых участков холодных и полутеплых покрытий и стен зданий.

Стеклопластик на основе непрерывных стекловолокон непрозрачен. Он состоит из термореактивных фенолформальдегидных и других смол и стекловолокон в виде отдельных волокон, стеклонитей или стекложгутов непрерывной длины. Стекловолокна располагаются в одном или двух взаимно перпендикулярных направлениях в количестве до 70 % по массе. Наиболее высокими механическими свойствами обладают стеклопластики, армированные прямыми непрерывными волокнами, например стекложгутами. Если все стекложгуты расположены только в одном направлении, то прочность стеклопластика при растяжении в этом направлении вдоль волокон является максимальной и может достигать 1000 МПа, а модуль упругости — 40 000 МПа. Однако в направлении, поперечном направлению стекложгутов, прочность стеклопластика невелика и приближается к прочности неармированного связующего. Если стекложгуты уложены по двум взаимно перпендикулярным направлениям, то прочность и жесткость стеклопластика будет выше в том направлении, по которому уложена большая часть стекложгутов.

В нашей стране выпускают стеклопластик марки АГ-4С, армированный непрерывными стекловолоконками. Он имеет плотность примерно 1900 кг/м³, прочность при растяжении до 500 МПа и модуль упругости до 18 500 МПа. Этот стеклопластик используют для изготовления небольших болтов, фасонки, профильных и других деталей, конструкций, эксплуатируемых в химически агрессивной среде. Из него могут изготавливаться и несущие конструкции.

Пенопласты — это сверхлегкие газонаполненные конструкционные пластмассы. Они представляют собой твердую пену, состоящую из массы замкнутых ячеек, заполненных воздухом или безвредным газом со стенками из затвердевшей полимерной смолы. Синтетическим связующим в пенопластах служат термопластичные или термореактивные смолы. Из термопластичных полистирольных и поливинилхлоридных смол изготавливают пенополистиролы ПС-1, ПС-4 и ПСБ. Из термореактивных полиуретановых и фенолформальдегидных смол получают пенополиуретан ПУ-101 и пенополифенолформальдегид ФРП-1. Наполнителями являются газы, образующиеся в процессе пенообразования.

Пенопласты образуются путем горячего вспенивания термопластичных смол или введения в состав термореактивных смол отвердителей и пенообразователей в процессе их твердения. Прессовые пенопласты изготавливаются в установках высокого давления. Они имеют повышенную прочность и стоимость. Беспрессовые пенопласты вспениваются при обычном атмосферном давлении, являются менее прочными и более дешевыми. Особенно эффек-

тивно изготовление термопластичных пенопластов непосредственно в полостях ограждающих конструкций, например при формировании среднего слоя трехслойных плит и панелей.

Плотность пенопластов очень мала и находится у конструктивных видов в пределах $30—100 \text{ кг/м}^3$. У поверхности блоков она несколько выше, чем в середине, благодаря меньшим размерам газосодержащих ячеек (рис. 1.8). Это наиболее легкий конструктивный материал в практике мирового строительства. Прочность пенопластов соответствует их плотности и тоже очень мала: при сжатии — $0,2—0,5 \text{ МПа}$, а при сдвиге — $0,1—0,7 \text{ МПа}$.

Пенопласты — очень эффективный теплоизоляционный материал. Теплопроводность, соответствующая их малой плотности, очень низкая. Теплостойкость их ограничена и у термопластичных видов составляет всего 60°C и лишь вдвое выше у термореактивных. Пенопласты бывают сгораемые — ПС-1 и ПС-4, трудногораемые и самозатухающие — ПСБ и ФРП. Благодаря малой массе, низкой теплопроводности и относительно достаточной прочности их используют как эффективный материал для слоистых плит и панелей покрытий и стен зданий различного назначения, отличающихся легкостью и высокими теплозащитными свойствами.

Органическое стекло, или оргстекло, — это конструкционная пластмасса, состоящая полностью из термопластичной полимерной смолы — полиметилметакрилата, без каких-либо наполнителей. Его изготавливают в виде листов и плит размерами до 170 см и толщиной до 40 мм . Оргстекло имеет достаточную (до 10 МПа) прочность при изгибе, но ограниченную жесткость и твердость. Модуль упругости составляет 3000 МПа , поверхность легко повреждается, теплостойкость ограничена 60°C , оно сгораемо.

Главное достоинство оргстекла — высокая степень прозрачности (до 95%). Существенным преимуществом оргстекла перед оконным стеклом является отсутствие хрупкости и светопрозрачность. В строительстве его используют для создания светопрозрачных участков в покрытиях и стенах зданий, в помещениях которых необходимо создание оздоровительного для людей внутреннего

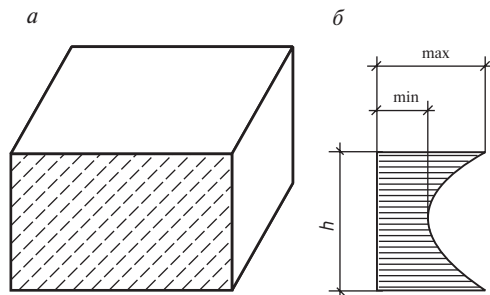


Рис. 1.8. Пенопласт:
а — блок; б — эпюра изменения плотности и прочности по толщине блока

микроклимата. Малая теплостойкость оргстекла позволяет формировать из нагретых листов гнутые поверхности зенитных фонарей.

Винипласт, как и оргстекло, состоит полностью из термопластичной смолы без наполнителей. Его изготавливают в виде плоских или волнистых листов толщиной до 2 мм и шириной до 120 см. Может быть прозрачным. Свойства винипласта близки к свойствам оргстекла. Основными преимуществами являются самозатухаемость, высокая стойкость в химически агрессивных средах и относительно низкая стоимость. Применяют в конструкциях, работающих в химически агрессивных средах.

Воздухонепроницаемые ткани — новый конструкционный материал, состоящий из текстиля и эластичных покрытий. Технический текстиль является прочностной основой воздухонепроницаемых тканей. Его изготавливают из высокопрочных синтетических волокон. Полиамидные волокна типа «капрон» применяют наиболее широко. Они имеют высокую прочность, значительную растяжимость и малую стойкость против старения. Полиэфирные волокна типа «лавсан» менее растяжимы и более стойки против старения. Текстиль имеет полотняное переплетение. Более прочные нити располагаются вдоль рулона (основа), а менее прочные — поперек него (уток). Синтетические волокна не подвержены гниению, но сгораемы.

Покрытия обеспечивают необходимую воздухонепроницаемость тканей, служат для плотной связи нитей и слоев текстиля между собой и защищают их от активного атмосферного старения. В качестве покрытий применяют главным образом резину на основе синтетических каучуков, а также эластичный пластифицированный поливинилхлорид.

Воздухонепроницаемые ткани изготавливают заводы резинотехнических изделий в виде рулонов шириной до 1 м, длиной до 20 м, толщиной 1—2 мм и поверхностной плотностью 0,5—1,5 кг/м². По числу слоев текстиля они бывают одно- и многослойными (не более трех слоев). Многослойные ткани бывают параллельно дублированными, в которых нити слоев располагаются параллельно, и диагонально дублированными, когда они находятся под углом 45° друг к другу. Для изготовления пневматических конструкций наша промышленность выпускает следующие воздухонепроницаемые ткани: однослойная У-93 и двуслойная У-92, параллельно дублированная для воздухоопорных конструкций; двуслойная № 109Ф и трехслойная № 110Ф, параллельно дублированная для изготовления более напряженных пневмокаркасных конструкций.

Резину из натурального каучука толщиной 1 мм применяют для изготовления камер пневмокаркасных конструкций. Для небольших воздухоопорных конструкций со сроками службы, измеряемыми месяцами, применяют малопрочные и нестойкие к атмосферным воздействиям, особенно в свету, синтетические пленки.

Свойства воздухо непроницаемых тканей определяются свойствами составляющих их текстилей и покрытий.

Прочность воздухо непроницаемых тканей зависит не от их толщины, а только от прочности нитей текстиля, направленных вдоль действующего в ткани растягивающего усилия. Вдоль основы прочность ткани значительно выше, чем вдоль утка, что соответствует их относительной прочности. Прочность параллельно дублированных тканей близка к общей прочности составляющих их слоев.

Деформативность воздухо непроницаемых тканей весьма значительна и может достигать при одноосном растяжении 30 %. Модуль упругости однослойных тканей составляет около 90 кг/см по основе и около 45 кг/см по утку (соответственно 90 и 45 кН/м).

Старение воздухо непроницаемых тканей происходит в результате длительного воздействия на них в процессе эксплуатации кислорода и озона воздуха, солнечного света, переменной влажности и температуры. Покрытия тканей при этом снижают свою эластичность и воздухо непроницаемость, а нити текстиля уменьшают свою прочность.

Морозостойкость воздухо непроницаемых тканей является достаточной и они сохраняют свои свойства при отрицательной температуре до -50°C . Теплостойкость их тоже достаточно высока и их можно эксплуатировать при температуре до $+50^{\circ}\text{C}$. К недостаткам воздухо непроницаемых тканей относят их сгораемость и легкую повреждаемость. Синтетические ткани только с водонепроницаемыми покрытиями, или пропитками, применяют для тентовых покрытий.

Неорганические конструкционные материалы. В конструкциях из дерева и пластмасс применяют также следующие неорганические конструкционные строительные материалы.

1. Сталь малоуглеродистая средней прочности, плотность 7850 кг/м^3 , предел текучести 275 МПа, модуль продольной упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа. Сталь изготовляют в виде листов, прокатных и гнутых профилей, прутков и применяют для изготовления металлических элементов и соединений конструкций.

2. Алюминий, деформируемый и поддающийся обработке давлением, марок АМц, АМг, АВ и др. Плотность алюминия значительно меньше, чем у стали, и равна 2640 кг/м^3 , модуль упругости $E = 7,1 \cdot 10^4$ МПа, а средняя прочность 150 МПа. Из алюминия изготовляют плоские и гофрированные листы, прокатные и гнутые профили. Алюминий намного более стоек, чем сталь, против коррозии во влажной среде и его применяют для обшивок легких трехслойных плит и панелей покрытий и стен различных зданий, а также для изготовления элементов и соединений конструкций.

3. Асбестоцемент, который состоит из смеси асбестовых волокон с цементным камнем. Изготовляют в виде волнистых и плоских листов толщиной 6—10 см и длиной 1,5; 3,0; 1,7 и 3,3 м и гнутых профилей. Средняя плотность 1800 кг/м^3 , средняя прочность при сжатии невелика и рав-

на 1,5 МПа, а при растяжении еще ниже, модуль упругости $E = 600$ МПа. Асбестоцемент негорюч, однако хрупок и гигроскопичен. Применяют в основном в качестве листов кровли и обшивок трехслойных ограждающих конструкций.

Вопросы для самопроверки

1. Расскажите о лесных богатствах нашей страны.
2. Какие породы древесины применяют в деревянных конструкциях и как они сортируются по качеству?
3. В чем преимущества древесины как конструкционного строительного материала?
4. Каково строение древесины? Что такое пороки и анизотропия древесины и как они влияют на ее прочность?
5. Как влияет влажность на плотность, прочность и жесткость древесины?
6. При каких условиях гниет древесина и какие методы ее защиты от гниения?
7. При каких условиях древесина горит и какие методы ее защиты от горения?
8. Что такое строительная фанера и каковы ее строение и достоинства как конструкционного материала?
9. Какие конструкционные пластмассы применяют для строительных конструкций и каковы их общие достоинства и недостатки?
10. Что такое стеклопластики, каковы их строение, прочность и область применения?
11. Что такое пенопласты, каковы их структура, плотность и область применения?
12. Что такое оргстекло, его основное достоинство и применение?
13. Что такое воздухопроницаемые ткани, каково их строение и где их применяют?
14. Что такое винипласт, каково его основное достоинство и где его используют?
15. Что такое древесные пластики, их строение, свойства и применение?
16. Какие неорганические конструкционные материалы используют в конструкциях из дерева и пластмасс?