

ДЕРЕВЯННЫЕ И ПЛАСТМАССОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Тема 1. Породы древесины. Достоинства и недостатки древесины

Преобладающими породами, используемыми в строительной отрасли, являются хвойные (лиственница, сосна, ель, пихта, кедр) и лиственные (дуб и береза).

Хвойную древесину используют для изготовления основных элементов деревянных конструкций и строительных деталей. Прямые высокие стволы хвойных деревьев с небольшим количеством сучков позволяют получать прямолинейные пиломатериалы с ограниченным количеством пороков. Хвойная древесина содержит смолы, благодаря чему она лучше сопротивляется увлажнению и загниванию, чем лиственная.

Лиственная древесина большинства пород является менее прямолинейной, 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 к загниванию. Однако, ввиду дефицитности и высокой стоимости она используется только для небольших соединительных деталей.

Березовая древесина так же относится к твердым лиственным породам. Ее используют, главным образом, для изготовления строительной фанеры. Нуждается в защите от загнивания.

Среди достоинств древесины как строительного материала, следует перечислить следующие:

- 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);
- относительная 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 мира облицовываются 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 гнотоклееных конструкций.

Тем не менее, у древесины есть и определенные недостатки:

- анизотропия строения древесины;
- подверженность загниванию и поражению жуками-древоточцами;
- низкая огнестойкость;
- изменение физико-механических характеристик под воздействием различных факторов (влаги, температуры);
- усушка, разбухание, коробление и растрескивание под влиянием атмосферных воздействий;
- наличие пороков (сучки, косослой и других), существенно снижающих качество изделий и конструкций;
- ограниченность сортамента лесоматериалов.

Строение древесины

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

Древесные волокна располагаются концентрическими слоями вокруг оси ствола, которые называются годовыми слоями, т.к. каждый слой нарастает в течение года. Они хорошо заметны в виде ряда колец на поперечных разрезах ствола, особенно хвойных деревьев. По их количеству можно определить возраст дерева (рисунок 1).

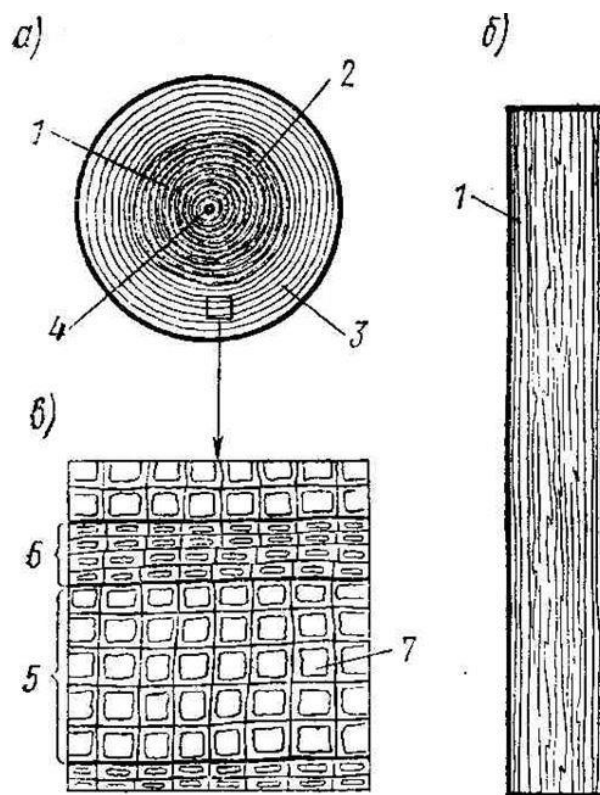


Рисунок 1. Строение хвойной древесины:

a – поперечное строение ствола; *б* – плась доски; *в* – микроструктура; 1 – годовые слои; 2 – ядро; 3 – заболонь; 4 – сердцевина; 5 – ранние слои; 6 – поздние слои; 7 – клетки-трахеиды.

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

Средняя часть стволов древесины хвойных пород имеет более темный цвет, содержит больше смолы и называется ядро. Затем идет заболонь и, наконец, кора.

Кроме того в древесине имеются горизонтальные сердцевинные лучи, мягкая сердцевина, смоляные ходы, сучки.

Сортамент, пороки и качество древесины

Лесоматериалы, получаемые строительством, делят на круглые и пиленные (рисунок 2).

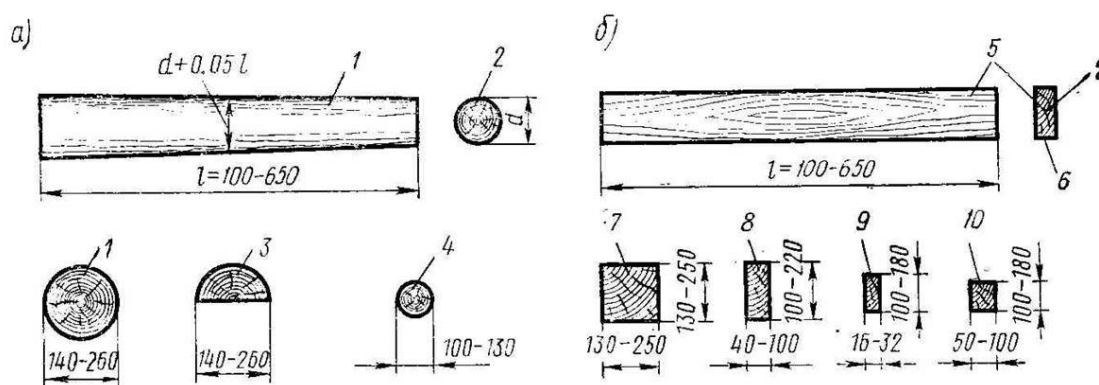


Рисунок 2 – Лесные материалы

а – круглые; б – пиленные; 1 – бревно; 2 – торец; 3 – пластина; 4 – подтоварник; 5 – пласть; 6 – кромка; 7 – брус; 8 – доска толстая; 9 – доска тонкая; 10 – брусок

Круглые лесоматериалы, называемые также бревнами, представляют собой части древесных стволов с гладко опиленными концами – торцами. Бревна имеют естественную усеченно-коническую форму. Уменьшение их толщины по длине называется сбегом. В среднем сбег составляет 0,8 см на 1 м длины (для лиственницы 1 см на 1 м длины) бревна. Средние бревна имеют толщину от 14 до 24 см крупные – до 26 см. Бревна толщиной 13 см и менее используют для временных построечных сооружений.

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 имеют стандартную длину 1 – 6,5 м. с градацией через каждые 0,25 м. Ширина пиломатериалов колеблется от 75 до 275 мм, толщина – от 16 до 250 мм.

Качество лесоматериалов определяется, в основном, степенью однородности строения древесины, от которой зависит ее прочность. Степень

однородности древесины определяется размерами и количеством участков, где однородность ее строения нарушена и прочность снижена. Такие участки называют пороками.

Основными недопустимыми пороками древесины являются: гниль, червоточины и трещины в зонах скалывания в соединениях.

Наиболее распространенными и неизбежными пороками древесины являются сучки – заросшие остатки бывших ветвей дерева. Сучки являются допустимыми с ограничениями пороками.

Наклон волокон (косослой) относительно оси элемента так же является допустимым с ограничением пороком. Он образуется в результате природного винтообразного расположения волокон в стволе, а также при распиловке бревен в результате их 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 лесоматериалов определяется сортом, устанавливаемым в зависимости от вида, величины, расположения и количества пороков. Древесина для несущих элементов деревянных конструкций должна удовлетворять всем требованиям действующих ТНПА и стандартов.

Физико-механические свойства древесины

Плотность. Древесина относится к классу легких конструкционных материалов. Ее плотность зависит от относительного объема пор и содержания в них влаги. Стандартная плотность древесины должна определяться при влажности 12%. Свежесрубленная древесина имеет плотность 850 кг/м³. Расчетная плотность древесины хвойных пород в составе конструкций в помещениях со стандартной влажностью воздуха 12% принимают равной 500 кг/м³., в помещении с влажностью воздуха более 75% и на открытом воздухе – 600 кг/м³.

Температурное расширение. Линейное расширение при нагревании, характеризуемое коэффициентом линейного расширения, в древесине различно вдоль и под углами к волокнам. Коэффициент линейного расширения α вдоль волокон составляет $(3 \div 5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, что позволяет строить деревянные здания без температурных швов. Поперек волокон древесины этот коэффициент меньше в 7 – 10 раз.

Теплопроводность древесины благодаря ее трубчатому строению очень мала, особенно поперек волокон. Коэффициент теплопроводности сухой древесины поперек волокон $\lambda \approx 0,14 \text{ Вт/м}\cdot\text{ } ^\circ\text{C}$. Брус толщиной 15 см эквивалентен по теплопроводности кирпичной стене толщиной в 2,5 кирпича (51 см) Теплоемкость древесины значительна, коэффициент теплоемкости сухой древесины составляет $C = 1,6 \text{ КДЖ/кг}\cdot\text{ } ^\circ\text{C}$.

Еще одним ценным свойством древесины является ее стойкость ко многим химическим и биологическим агрессивным средам. Она является

химически более стойким материалом, чем металл и железобетон. При обычной температуре плавиковая, фосфорная и соляная (низкой концентрации) кислоты не разрушают древесину. Большинство органических кислот при обычной температуре не ослабляют древесину, поэтому она часто используется для конструкций в условиях химически агрессивных сред.

Прочность. Древесина относится к материалам средней прочности, однако, ее относительная прочность с учетом малой плотности позволяет сравнивать ее со сталью.

Древесина является анизотропным материалом, поэтому ее прочность зависит от направления действия усилий по отношению к волокнам. При действии усилий вдоль волокон, оболочки клеток работают в самых благоприятных условиях, и древесина показывает наибольшую прочность.

Средний предел прочности древесины сосны без пороков вдоль волокон составляет:

При растяжении – 100 МПа.

При изгибе – 80 МПа.

При сжатии – 44 МПа.

При растяжении, сжатии и скалывании поперек волокон эта величина не превосходит 6,5 МПа. Наличие пороков значительно (~ на 30%) снижает прочность древесины при сжатии и изгибе, а особенно (~ на 70%) при растяжении. Длительность действия нагрузки существенно влияет на прочность древесины. При неограниченно длительном нагружении ее прочность характеризуется пределом длительного сопротивления, который составляет только 0,5 предела прочности при стандартном нагружении. Наибольшую прочность, в 1,5 раза превышающую кратковременную, древесина показывает при кратчайших ударных и взрывных нагрузках. Вибрационные нагрузки, вызывающие переменные по знаку напряжения, снижают ее прочность.

Жесткость древесины (ее степень деформативности под действием нагрузки) существенно зависит от направления действия нагрузок по отношению к волокнам, их длительности и влажности древесины. Жесткость определяется модулем упругости E .

Характеристические и расчетные значения прочностных и упругих характеристик материалов

К основным характеристическим значениям показателей древесины, используемым при проектировании деревянных конструкций, относят:

а) для цельной древесины:

- характеристическое значение прочности при сжатии вдоль волокон $f_{c,0,k}$;
- характеристическое значение прочности при сжатии поперек волокон $f_{c,90,k}$;
- характеристическое значение прочности при изгибе $f_{m,k}$;
- характеристическое значение прочности при растяжении вдоль волокон $f_{t,0,k}$;

- характеристическое значение прочности при растяжении поперек волокон $f_{t,90,k}$;
- характеристическое значение прочности при сдвиге вдоль волокон $f_{v,k}$;
- 5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,05}$;
- среднее значение модуля упругости вдоль волокон E_{mean} ;
- 5 %-ный квантиль модуля сдвига $G_{0,05}$;
- среднее значение модуля сдвига G_{mean} ;
- характеристическое значение плотности ρ_k ;
- среднее значение плотности ρ_{mean} ;

б) для многослойной клееной древесины:

- характеристическое значение прочности при сжатии вдоль волокон $f_{c,0,g,k}$;
- характеристическое значение прочности при сжатии поперек волокон $f_{c,90,g,k}$;
- характеристическое значение прочности при изгибе $f_{m,g,k}$;
- характеристическое значение прочности при растяжении вдоль волокон $f_{t,0,g,k}$;
- характеристическое значение прочности при растяжении поперек волокон $f_{t,90,g,k}$;
- характеристическое значение прочности при сдвиге вдоль волокон $f_{v,g,k}$;
- 5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,g,05}$;
- среднее значение модуля упругости вдоль волокон $E_{0,g,mean}$;
- среднее значение модуля упругости поперек волокон $E_{90,g,mean}$;
- среднее значение модуля сдвига $G_{g,mean}$;
- характеристическое значение плотности $\rho_{g,k}$.

Характеристические значения определяют путем испытаний стандартных образцов и статистической обработки результатов в соответствии с требованиями СТБ EN 384 и СТБ EN 408 или принимают по таблицам, приведенным в СТБ EN 338 и СТБ EN 1194.

Расчетные значения прочностных и упругих характеристик цельной и клееной древесины

При проектировании деревянных конструкций в расчетах предельных состояний несущей способности следует использовать расчетные значения прочностных и упругих характеристик древесины, которые определяют в соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1, ТКП 45-5.05-275-2012.

Определение расчетных значений прочностных и упругих характеристик для древесины, а также конструкций и материалов на ее основе следует осуществлять с учетом продолжительности воздействий и их сочетаний, а также температурно-влажностных условий эксплуатации — классов эксплуатации.

В зависимости от температурно-влажностных условий эксплуатации и влажности материала конструкции в соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1 все сооружения подразделяют на три класса эксплуатации:

– класс эксплуатации 1: характеризуется содержанием влаги в материалах, соответствующим температуре 20 °С и относительной влажности окружающего воздуха исключительно в случаях превышения 65 % в течение нескольких недель в год. В данных условиях среднее содержание влаги в мягких породах древесины (сосна, ель, тополь), как правило, не должно превышать 12 %;

– класс эксплуатации 2: характеризуется содержанием влаги в материалах, соответствующим температуре 20 °С и относительной влажности окружающего воздуха исключительно в случаях превышения 85 % в течение нескольких недель в год. В данных условиях среднее содержание влаги в мягких породах древесины (сосна, ель, тополь), как правило, не должно превышать 20 %;

– класс эксплуатации 3: характеризуется климатическими условиями, приводящими к более высокому содержанию влаги, чем при классе эксплуатации 2.

Учет длительности воздействий и температурно-влажностных условий эксплуатации при определении расчетных значений прочностных характеристик древесины и материалов на ее основе осуществляют посредством коэффициента модификации k_{mod} . Значения коэффициента свойств материала γ_M и коэффициента модификации k_{mod} следует принимать из таблиц 1 и 2 соответственно.

Частные коэффициенты свойств материала γ_M и сопротивлений

Таблица 1

Основные сочетания	γ_M
Цельная древесина	1,30
Клееная древесина	1,25
LVL, фанера, OSB	1,20
ДСП	1,30
ДВП (твердые)	1,30
ДВП (средней плотности)	1,30
ДВП (мягкие)	1,30
MDF	1,30
Соединения	1,30
Металлические (зубчатые) пластины	1,25
Особые расчетные ситуации	1,00

Примечание — Приведенные данные могут быть уточнены при накоплении результатов испытаний материалов, выпускаемых предприятиями Республики Беларусь по соответствующим стандартам.

Значения коэффициента модификации k_{mod}

Таблица 2

Материал	Стандарт	Класс условий эксплуатации	Значение k_{mod} для класса длительности действия нагрузки					
			Постоянная	Длительная	Среднесрочная	Кратковременная	Мгновенная	
Цельная древесина	СТБ EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Клееная древесина	СТБ EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
LVL	СТБ EN 14374 СТБ EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Фанера	СТБ EN 636	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
OSB:	СТБ EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
ДСП:	СТБ EN 312	P4, P5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		P5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		P6, P7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		P7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
ДВП (плотные):	СТБ EN 622-2	НВ.LA, НВ.HLA1, НВ.HLA2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		НВ.HLA1, НВ.HLA2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
ДВП (средней плотности):	СТБ EN 622-3	МВН.LA1, МВН.LA2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		МВН.HLS1, МВН.HLS2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		МВН.HLS1, МВН.HLS2	2	—	—	—	0,45	0,80
МДФ:	СТБ EN 622-5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF.HLS	2	—	—	—	0,45	0,80

Примечание — Для материалов, выпускаемых по другим стандартам, значения k_{mod} должны быть определены отдельно.

Расчетные значения упругих характеристик для расчетов предельных состояний несущей способности определяют в соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1.

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности коэффициент k_{mod} не учитывают.

Тема 2. Расчет центрально растянутых, сжатых и изгибаемых элементов деревянных конструкций

Центрально-растянутый элемент — элемент, который подвержен осевому растяжению вдоль центральной оси $x-x$, совпадающей с направлением волокон древесины (рисунок 3). К элементам, подверженным осевому растяжению, можно отнести элементы решетки ферм, элементы связей, растянутые элементы каркасных стен и т. п.

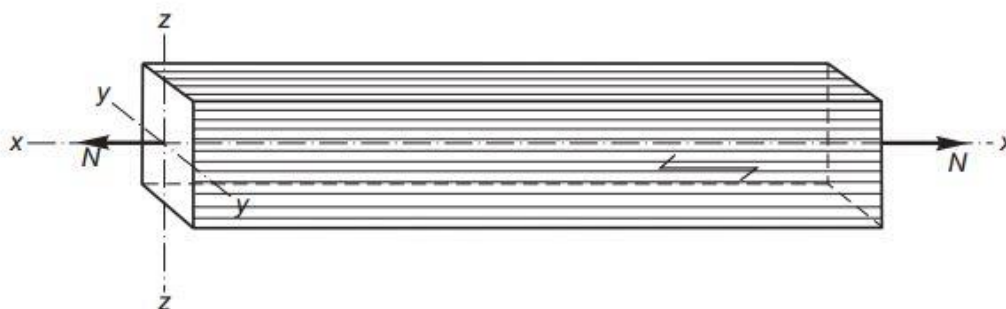


Рисунок 3 – Общий вид центрально-растянутого элемента

Растянутый элемент должен быть проверен в наиболее слабой точке, которой, как правило, является место соединения. После того, как соединения рассчитаны, элемент должен быть проверен с учетом фактической площади сечения нетто. В соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1 эффект уменьшения площади сечения допускается не учитывать, если в соединении используют гвозди и шурупы диаметром не более 6 мм без предварительного просверливания отверстий. Вместе с тем, в соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1, все отверстия в пределах расстояния половины минимального размера крепежного элемента, измеряемого вдоль волокон, следует рассматривать как относящиеся к данному сечению.

В соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1 расчетное значение растягивающего напряжения в элементе должно быть меньше, чем расчетное значение прочности при растяжении:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

где $\sigma_{t,0,d}$ – расчетное напряжение растяжения вдоль волокон, определяемое по формуле

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{net}}$$

здесь N_d – расчетное значение осевого усилия;

A_{net} – площадь нетто сечения с учетом ослаблений в соединении;

$f_{t,0,d}$ – расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон.

Если на каждом конце элемента соединения разные, то следует рассмотреть конец с минимальной площадью сечения нетто.

Расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон определяют из выражения

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_h f_{t,0,k}}{\gamma_m}$$

где k_{mod} – коэффициент модификации, значение которого принимают в соответствии с ТКП EN 1995;

k_{sys} – коэффициент прочности системы;

k_h – проправочный коэффициент, учитывающий эффект размера поперечного сечения элемента при растяжении;

$f_{t,0,k}$ – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе при растяжении элемента вдоль волокон;

γ_m – частный коэффициент свойств материала.

Для определения значения коэффициента k_h следует использовать наибольший размер поперечного сечения элемента. Если рассчитывают элемент из LVL, то вместо коэффициента k_h следует использовать коэффициент k_l , который зависит от длины элемента.

Расчет центрально-сжатых элементов

К центрально-сжатым элементам относят элементы конструкций, в которых сжимающая нагрузка направлена вдоль центральной оси $x-x$ элемента, совпадающей с направлением волокон древесины (рисунк 4). Такие элементы используют в качестве колонн, стоек, элементов каркаса в стенах или раскосах стропильных ферм. Прочность элементов, подверженных осевому сжатию, зависит от следующих факторов:

- прочности на сжатие и модуля упругости древесины;
- размеров поперечного сечения и длины;
- условий закрепления;
- геометрических несовершенств (отклонений от номинальных размеров, начальной кривизны и т. п.);
- изменений характеристик материала, плотности, податливости узлов, влагосодержания.

В ТКП EN 1995-1-1 все эти факторы учитывают путем соблюдения соответствующих требований при выполнении расчетов элементов.

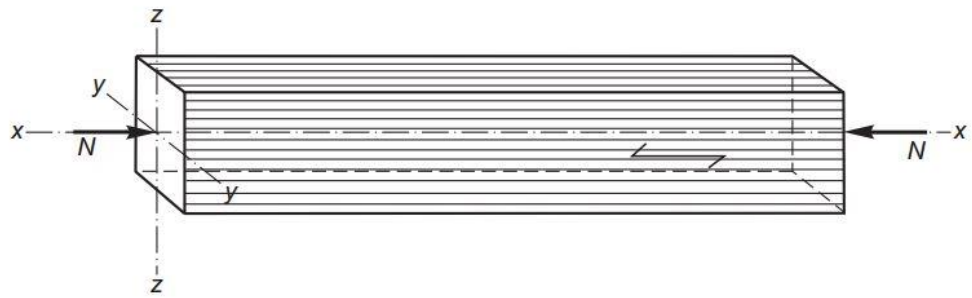


Рисунок 4 – Общий вид центрально-сжатого элемента

При осевом нагружении вследствие несовершенства геометрии элемента или изменений его свойств, а также комбинации обоих факторов значение гибкости элемента λ возрастает с увеличением перемещения в поперечном направлении, что в конечном счете приводит к разрушению в результате потери устойчивости, как показано на рисунке 5

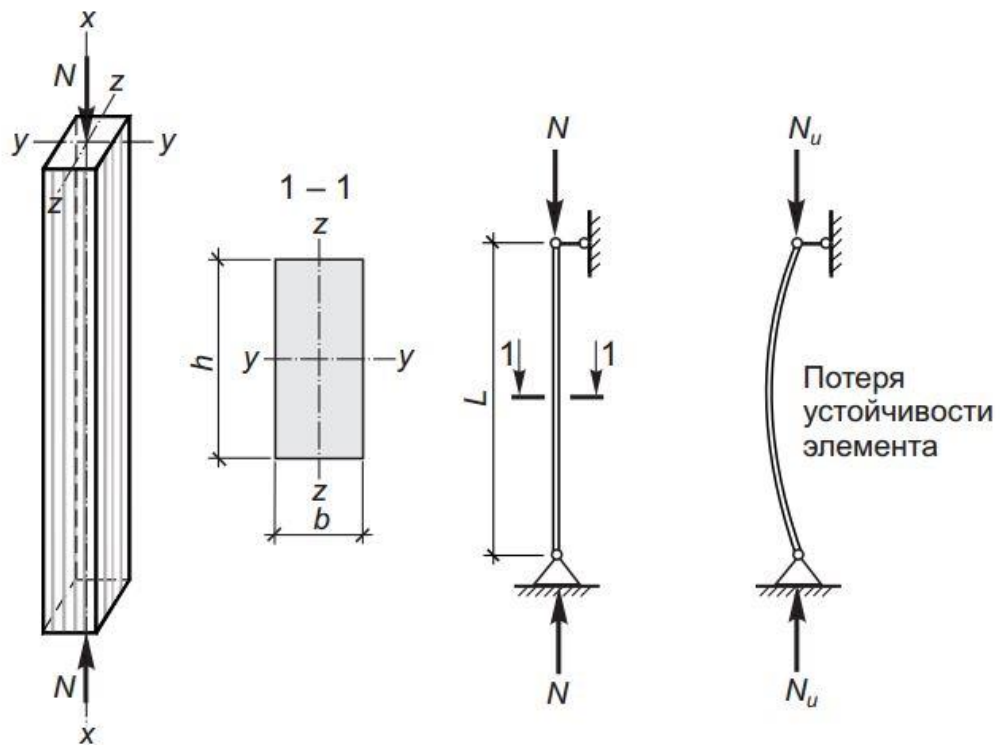


Рис. 5. Сжатие элемента

Гибкость элемента следует определять по формуле

$$\lambda = \frac{L_e}{i}$$

где L_e — расчетная длина элемента;

i — радиус инерции относительно оси.

При расчете сжатых элементов необходимо использовать значение гибкости λ_y относительно оси y-y и λ_z относительно оси z-z.

Потеря устойчивости элемента произойдет относительно оси с наибольшим значением гибкости. Расчетную длину L_e элемента, зависящую от схемы закрепления концов и распределения нагрузки по его длине, определяют из выражения

$$L_e = \mu_0 L$$

где μ_0 – коэффициент, учитывающий условия закрепления;
 L – общая длина элемента.

Для случая нагружения продольными силами по концам элемента:

$\mu_0 = 1$ — при шарнирно-закрепленных концах, а также при шарнирном закреплении в промежуточных точках элемента;

$\mu_0 = 0,8$ — при одном шарнирно-закрепленном и другом защемленном конце;

$\mu_0 = 2,2$ — при одном защемленном и другом свободном конце;

$\mu_0 = 0,65$ — при обоих защемленных концах.

Для случая равномерно распределенной по длине элемента продольной нагрузки:

$\mu_0 = 0,73$ — при обоих шарнирно-закрепленных концах;

$\mu_0 = 1,2$ — при одном защемленном и другом свободном конце.

Для идеализированного прямого элемента общей длиной L , имеющего однородные свойства и шарнирно-закрепленного по обоим концам, критическая сила, при которой произойдет потеря устойчивости относительно оси $y-y$ или $z-z$ в пределах упругой работы материала элемента, может быть определена по формуле

$$P_{E,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05} A}{\lambda_y^2} \text{ или } P_{E,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05} A}{\lambda_z^2}$$

где $P_{E,y(z)}$ – критическая сила относительно оси $y-y$ ($z-z$);

$E_{0,05}$ – 5% квантиль модуля упругости материала элемента;

A – площадь поперечного сечения элемента;

$\lambda_{y(z)}$ – гибкость относительно оси $y-y$ ($z-z$).

Разделив соответствующую критическую силу на площадь поперечного сечения элемента A , получим критическую прочность элемента относительно осей $z-z$ и $y-y$ соответственно:

$$\sigma_{E,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} \text{ или } \sigma_{E,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

В ТКП EN 1995-1-1 квадратный корень из отношения характеристической прочности на сжатие древесины вдоль волокон $f_{c,0,k}$ к его прочности при изгибе определяют как относительную гибкость λ_{rel} .

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \text{ или } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

где $\lambda_{rel,y}$ – относительная гибкость соответствующая изгибу относительно оси у-у (т.е. элемент будет отклоняться по оси z-z; см. рисунок 4.5);

$\lambda_{rel,z}$ – относительная гибкость соответствующая изгибу относительно оси z-z (т.е. элемент будет отклоняться по оси у-у; см. рисунок 4.5);

Для коротких массивных элементов с относительной гибкостью $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ расчет следует выполнять по формуле

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

где $\sigma_{c,0,d}$ – расчетное значение напряжения сжатия вдоль волокон;

$f_{c,0,d}$ – расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон, определяемое по формуле

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

здесь k_{mod} – коэффициент модификации, значение которого принимают в соответствии с ТКП EN 1995, учитывающий длительность нагружения и условия эксплуатации;

k_{sys} – коэффициент прочности системы;

$f_{c,0,k}$ – характеристическое значение прочности при сжатии древесины или материала на ее основе вдоль волокон;

γ_M – частный коэффициент свойств материала.

Для сжатых элементов с относительной гибкостью $\lambda_{rel,y} > 0,3$ и/или $\lambda_{rel,z} > 0,3$ в соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1 (6.3.2) должны выполняться следующие условия:

– при $\lambda_{rel,y} > 0,3$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

– при $\lambda_{rel,z} > 0,3$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

то есть

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} f_{c,0,d}$$

где

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

Здесь

$$k_y = 0,5 \cdot \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right),$$

$$k_z = 0,5 \cdot \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right),$$

где β_c – коэффициент, который для элементов сплошного поперечного сечения, изготовленных из древесины, составляет 0,2 при условии, что отклонение от прямолинейности, измеряемое посередине длины элемента, менее или равно $L/300$. Для элементов из многослойной клееной древесины и LVL $\beta_c = 0,1$ при условии, что отклонение от прямолинейности, измеряемое посередине длины элемента, менее или равно $L/500$.

Расчет изгибаемых элементов

Для изгибаемых элементов расчет по предельным состояниям несущей способности должен состоять из проверки сохранения статического равновесия при скольжении или отрыве элемента и проверки условия прочности при изгибе, сдвиге и смятии, а расчет по предельным состояниям эксплуатационной пригодности — из проверки условия перемещений и колебаний.

Допустимые отклонения от прямолинейного положения изгибаемых элементов должны соответствовать требованиям, приведенным в ТКП EN 1995-1-1.

Для изгибаемых элементов (балок) напряжение смятия под опорными поверхностями необходимо определять в соответствии с требованиями ТКП EN 1995-1-1. Длину опорной площадки следует рассчитывать из условия смятия древесины поперек волокон. Расчетный пролет балки принимают равным пролету в свету плюс половина длины опорной площадки на каждом конце. Для сплошных деревянных балок, балок перекрытия и составных балок покрытия расчетным пролетом является расстояние в свету, увеличенное на 50 мм, а для составных балок пролетами до 12 м — расстояние в свету, увеличенное на 100 мм.

При проверке предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности необходимо проверять каждый расчетный эффект, используя максимальное по значению сочетание воздействий. В случае предельного состояния несущей способности наибольшие значения будут получены при основных сочетаниях воздействий.

В случае необходимости учета особых расчетных ситуаций следует использовать сочетания воздействий, приведенные в ТКП EN 1990.

При расчете по прочности необходимо рассмотреть все ситуации с учетом коэффициента k_{mod} . В случае, когда сочетание воздействий включает воздействия различных классов длительности действия, коэффициент k_{mod} , соответствующий воздействию с наименьшей длительностью, относят к характеристикам прочности. При рассмотрении состояний равновесия k_{mod} не используют.

Для изгибаемого элемента, обеспеченного от потери устойчивости плоской формы деформирования, т. е. если уменьшения прочности вследствие потери устойчивости в поперечном направлении не происходит, расчетная прочность будет определяться прочностью материала при изгибе. Потеря устойчивости элемента, изгибаемого относительно оси u - u (рисунки 6 и 7),

произойдет в случае, если его сжатая зона не полностью раскреплена от поперечного смещения и относительная гибкость при изгибе по отношению к этой оси $\lambda_{rel,m} > 0,75$.

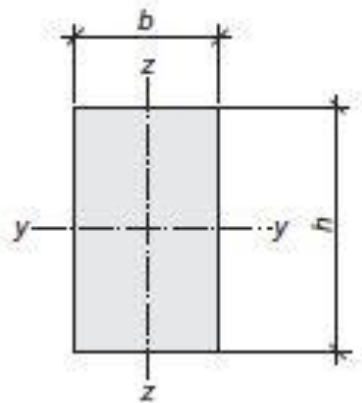


Рисунок 6 – Прямоугольное поперечное сечение изгибаемого элемента

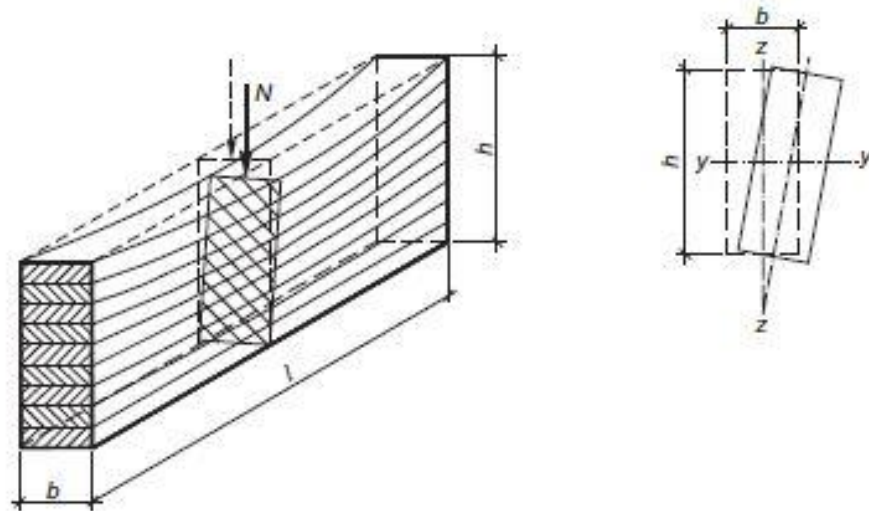


Рисунок 7 – Общий вид потери устойчивости плоской формы деформирования

Для элемента, изгибаемого только относительно оси $y-y$, с относительной гибкостью по отношению к этой оси $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,$$

где $\sigma_{m,y,d}$ – расчетное напряжение изгиба относительно оси $y-y$;
 $f_{m,y,d}$ – расчетное значение прочности изгиба относительно оси $y-y$;

Для элемента, изгибаемого только относительно оси $z-z$, при обеспечении его устойчивости в поперечном направлении, должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

где $\sigma_{m,z,d}$ – расчетное напряжение изгиба относительно оси $y-y$;

$f_{m,z,d}$ – расчетное значение прочности изгиба относительно оси y - y ;

Если элемент подвержен косому изгибу (изгиб относительно двух осей), а относительная гибкость относительно оси y - y $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$, расчетные условия должны соответствовать выражениям:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

где k_m — поправочный коэффициент, который учитывает перераспределение напряжений в элементе в нелинейной области деформирования, а также эффект изменения свойств материала. Согласно ТКП EN 1995-1-1 (6.1.6(2)) k_m составляет:

0,7 — для элементов прямоугольного поперечного сечения из цельной, многослойной клееной древесины и LVL;

1,0 — для других поперечных сечений;

1,0 — для других конструкционных материалов на основе древесины любых поперечных сечений.

Для прямоугольного поперечного сечения шириной b и высотой h расчетные напряжения изгиба относительно главной y - y и второстепенной z - z осей определяются из выражений:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y},$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z},$$

где $M_{y,d}$ и $M_{z,d}$ — расчетные изгибающие моменты относительно главной y - y и второстепенной z - z осей соответственно;

W_y и W_z — моменты сопротивления относительно главной y - y и второстепенной z - z осей соответственно. $W_{y/z} = \frac{bh^2}{6}$.

Расчетное значение прочности материала элемента при его изгибе определяют из выражения

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_h f_{m,k}}{\gamma_M},$$

где k_{mod} — коэффициент модификации, учитывающий длительность нагрузки и влажность материала;

k_{sys} — коэффициент прочности системы, учитывающий характер распределения нагрузки;

k_h — поправочный коэффициент, учитывающий эффект размера элемента. Данный эффект относится только к элементам из цельной и клееной древесины, а также из LVL. Для расчета с использованием конструкционных материалов на основе древесины $k_h = 1,0$. Учитывая, что k_h зависит от размера элемента в направлении изгиба, его значение при изгибе относительно оси $y-y$ может отличаться от значения относительно оси $z-z$;

$f_{m,k}$ — характеристическое значение прочности при изгибе деревянного элемента. Для материалов на основе древесины принимают характеристическую прочность при изгибе относительно оси изгиба;

γ_M — частный коэффициент свойств материала.

Для сечений с одинаковыми моментами сопротивления относительно осей $y-y$ и $z-z$ (квадратных или круглых) потери устойчивости в поперечном направлении не происходит. При использовании круглого сечения момент

сопротивления будет равен $\frac{\pi d^2}{32}$ (d — диаметр сечения элемента).

Для элемента, изгибаемого только относительно главной оси $y-y$, с относительной гибкостью $\lambda_{rel,m} > 0,75$ должно соблюдаться следующее условие (расчет на устойчивость плоской формы деформирования):

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,y,d},$$

где $\sigma_{m,d}$ — расчетное напряжение изгиба элемента;

k_{crit} — коэффициент, учитывающий понижение прочности при изгибе вследствие поперечного кручения с изгибом;

$f_{m,y,d}$ — расчетное значение прочности материала элемента при изгибе.

Если в изгибаемых элементах (балках) могут возникнуть случаи потери устойчивости в поперечном направлении (потеря устойчивости плоской формы деформирования), то максимальные начальные отклонения в середине пролета, допускаемые в ТКП EN 1995-1-1 (раздел 10), должны быть не более: $l/300$ — для элементов сплошного поперечного сечения из цельной древесины.

где l — длина изгибаемого элемента, мм;

$l/500$ — для элементов сплошного поперечного сечения из LVL и клееной древесины.

При соблюдении данных условий значение коэффициента k_{crit} определяется из выражения

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{для } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ \text{от } 1,56 \text{ до } 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{для } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{для } \lambda_{rel,m} > 1,4 \end{cases}$$

Относительную гибкость изгибаемого элемента $\lambda_{rel,m}$ определяют по формуле

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}},$$

где $\sigma_{m,crit}$ — критическое напряжение изгиба (прочность при продольном изгибе).

Критическое напряжение изгиба следует определять по формуле

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{I_{ef} W_y},$$

где $M_{y,crit}$ — упругий критический момент;

W_y — момент сопротивления поперечного сечения относительно оси у-у (см. рисунок 7);

$E_{0,05}$ — 5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон;

I_z — момент инерции поперечного сечения относительно оси z-z (см. рисунок 7);

$G_{0,05}$ — 5 %-ный квантиль модуля сдвига вдоль волокон;

I_{tor} — момент инерции сечения при кручении;

l_{ef} — эффективная (приведенная) длина пролета изгибаемого элемента, зависящая от условий опирания и вида нагрузки; принимают из таблицы 3.

Изгибающий момент $M_{y,crit}$ зависит от вида нагрузки, прилагаемой к изгибаемому элементу, его длины и условий закрепления, места приложения нагрузки на элемент относительно его центра тяжести, модуля сдвига и модуля упругости материала элемента, а также размеров поперечного сечения. При расчете изгибаемых элементов (балок) сплошного прямоугольного сечения из мягких пород древесины с учетом эффективной (приведенной) длины может быть записана следующим образом:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{hl_{ef}} \cdot E_{0,05},$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{hl_{ef}} \cdot E_{0,05},$$

При расчете элементов прямоугольного сечения, изготовленных из твердых пород древесины, LVL или многослойной клееной древесины, можно записать:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2}{hl_{ef}} \sqrt{E_{0,05} G_{0,05} \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h}\right)},$$

Отношение эффективной длины к расчетному пролету
изгибаемого элемента (балки)

Таблица 3

Условия закрепления изгибаемого элемента	Вид нагрузки	$\frac{l_{ef}}{l}$	
		по ТКП EN 1995-1-1	Другие случаи
Свободное опирание	Постоянный момент	1,0	—
	Равномерно распределенная нагрузка	0,9	—
	Сосредоточенная нагрузка в середине	0,8	—
	пролета		
	Сосредоточенные нагрузки на $\frac{1}{4}$ и $\frac{3}{4}$	—	0,96
	пролета		
	Момент M на одном конце и $M/2$ в об-	—	0,76
	ратном направлении на дру- гом конце		
	Момент M на одном конце и его отсут-	—	0,53
ствие на другом			
Полное закрепление на обеих опорах	Равномерно распределенная нагрузка	—	0,78
	Сосредоточенная нагрузка в середине	—	0,64
	пролета		
Свободное опирание и закрепление от по- перечного перемещения при кручении в середине пролета	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета	—	0,28
Консоль**	Равномерно распределенная нагрузка	0,5	—
	Сосредоточенная нагрузка на свобод-	0,8	—
	ном конце		
<p>* Отношение эффективной длины l_{ef} к расчетному пролету l справедливо для балок, нагруженных в центре тяжести. Если нагрузка приложена к сжатой поверхности балки, l_{ef} следует увеличить на $2h$ (где h — высота балки), а при нагружении по растянутой стороне балки — уменьшить на $0,5h$.</p> <p>** Один конец консоли закреплен в поперечном направлении от кручения и от поворота в плоскости, а второй конец — свободен и может перемещаться в поперечном направлении и поворачиваться.</p>			

Расчетное значение прочности при изгибе $f_{m,d}$, вычисляют с использованием характеристического значения прочности при изгибе. Следовательно, при изгибе относительно оси у-у пониженное расчетное значение прочности может быть определено следующим образом:

$$k_{crit} f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_h}{\gamma_M} \cdot \left(k_{crit} f_{m,k} \right),$$

Если относительная гибкость $\lambda_{rel,m}$ известна, то значение произведения k_{crit} на $f_{m,d}$ может быть получено расчетным путем.

Для уменьшения относительной гибкости, т. е. повышения поперечной устойчивости изгибаемого элемента (балки) следует применять поперечное раскрепление балки в точках, расположенных вдоль ее длины. Для таких ситуаций эффективная длина соответствует расстоянию между соседними точками раскрепления. Если балка в поперечном направлении раскреплена по всей ее длине в сжатой зоне и закреплена по высоте сечения (например, сплошная деревянная распорка), то $k_{crit} = 1$. Поперечное раскрепление должно обеспечивать достаточную прочность и гибкость балки.

Тема 3. Соединения элементов деревянных конструкций

Размеры лесоматериалов (длина и сечения) ограничены, поэтому отдельно они могут быть применены только в виде стоек и балок невысокой несущей способности. Для создания большинства строительных конструкций деревянные элементы должны быть прочно и надежно соединены между собой. При помощи соединений ряд элементов соединяется по длине – сращивается, по ширине – сплачивается, связывается под углом узлами и прикрепляется к опорам – анкеруется.

Соединения являются наиболее ответственными деталями деревянных конструкций. При изготовлении многих соединений в элементах конструкций делают отверстия и врезки, ослабляющие их сечения и повышающие их деформативность. Разрушение деревянных конструкций начинается в большинстве случаев в соединениях. Деформативностью соединений объясняются повышенные прогибы деревянных конструкций. Таким образом, от правильного решения, расчета и изготовления соединений зависят прочность и деформативность конструкции в целом.

Анизотропия строения, малая прочность древесины при скалывании, растяжении поперек волокон и смятии являются причиной большой сложности и многообразия соединений конструкций из дерева.

Наиболее просто и надежно решаются конструкции соединений сжатых деревянных элементов, в которых усилия передаются непосредственно от элемента, к элементу и не требуется специальных рабочих связей. Более сложно решаются соединения изгибаемых элементов, в которых для передачи усилий требуются рабочие связи.

Наиболее сложно решаются соединения растянутых элементов. В них имеется опасность хрупкого разрушения древесины по ослабленным сечениям, а также в результате скалывания и растяжения поперек волокон. Применение в соединениях растянутых элементов податливо работающих связей уменьшает опасность их хрупкого разрушения. Сложность соединения растянутых деревянных элементов приводит их в ряде конструкций к замене металлическими.

По характеру работы все основные соединения деревянных конструкций могут быть разделены на следующие группы:

а) соединения без специальных связей, требующих расчета, — упоры и врубки;

б) соединения со связями, работающими на сжатие, — шпонками и колодками;

в) соединения со связями, работающими на изгиб, — нагелями-болтами, штырями, гвоздями, винтами, деревянными пластинками и штырями;

г) соединения со связями, работающими на растяжение, — болтами, гвоздями, винтами и хомутами;

д) соединения со связями, работающими на сдвиг, — клеевыми швами.

В связи с тем, что одни и те же связи входят в разные группы, удобно изучать соединения деревянных конструкций в следующем порядке: соединения без специальных связей, с деревянными связями, с металлическими связями, с клеевыми связями.

Клеевые соединения, наиболее прогрессивные и технологичные, являются основными соединениями элементов при заводском изготовлении деревянных конструкций. Соединения, не требующие специальных связей (упоры и врубки), применяются главным образом при построечном, изготовлении деревянных конструкций. Металлические соединения являются универсальными и широко используются при обоих основных методах изготовления деревянных конструкций. Соединения с деревянными связями являются устаревшими типами соединений, требующими значительных затрат ручного труда. Они применяются редко и только при построечном изготовлении деревянных конструкций.

Все соединения деревянных конструкций являются податливыми, за исключением клеевых. Деформации в них образуются в результате неплотностей, возникающих при изготовлении, от усушки и смятия древесины, особенно поперек волокон и изгиба связей. Величина этих деформаций при длительном действии расчетных нагрузок в соединениях, где древесина работает поперек волокон, принимается равной 3 мм, а во всех других случаях — 1,5 - 2 мм.

В большинстве соединений деревянных конструкций, кроме клеевых, в результате действия сжимающих усилий или начального обжима, например, при постановке болтов, возникают между соединяемыми элементами силы трения, которые уменьшают усилия в связях. Однако эти силы в результате возможной знакопеременности усилий, усушки древесины и ослабления начальных натяжений связей могут снизиться до нуля и поэтому расчетом не учитываются. Они учитываются только при кратковременном действии сжатия с коэффициентами трения пласти по пласти 0,2, торца по пласти 0,3 и когда они вызывают дополнительные напряжения с коэффициентом трения 0,6.

Соединения элементов, в которых действуют незначительные усилия или усилия передаются непосредственно от одного элемента к другому, не требуют специальных связей, подлежащих расчету. К таким соединениям относятся конструктивные врубки, лобовые упоры и лобовые врубки.

Конструктивные врубки (рис. 8) являются соединениями, в которых возникают усилия намного меньше их несущей способности, и они не нуждаются в расчете. В деревянных конструкциях наибольшее применение находят конструктивные соединения в четверть, в шпунт, в полдерева и косої прируб.

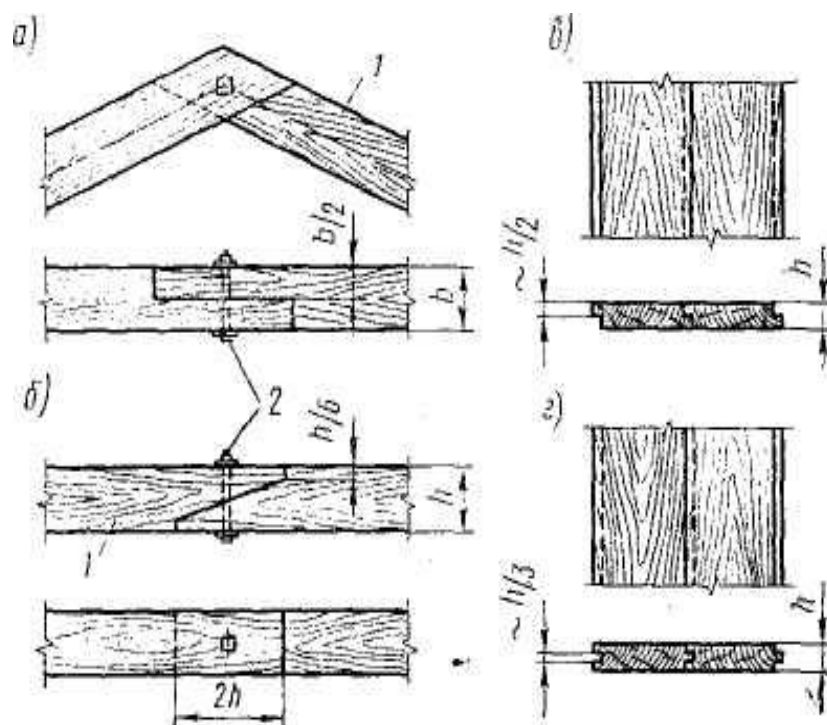


Рисунок 8 – Конструктивные врубки: а - врубка в полдерева; б - косой прируб; в - соединения в четверть; г - соединения в шпунт; 1 - соединяемые элементы; 2 - стяжные болты.

Соединение в четверть представляет собой сплачивание досок кромками по ширине, для чего в них вырезаются односторонние пазы глубиной, несколько большей половины толщины, в которые входят образовавшиеся выступы кромок соседних досок. Обшивки стен из досок, соединенных в четверть, препятствуют продуванию стен и проникновению атмосферных осадков. Сосредоточенные нагрузки в таких обшивках распределяются на две соседние доски.

Соединение в шпунт представляет собой сплачивания досок или брусьев кромками, в одной из которых вырезаны двусторонние пазы, в другой - *один средний паз* (шпунт), в который входит образовавшийся выступ (гребень) соседней доски. Настилы из досок, соединены в шпунт, препятствуют просыпанию засыпок, и сосредоточенные нагрузки на них распределяются на ряд соседних досок.

Врубка в полдерева представляет собой соединение концов брусьев или бревен с врезками до половины толщины под углом в одной плоскости, стянутых конструктивным болтом. Так соединяются, например, концы стропильных ног в коньке крыш.

Косой прируб представляет собой продольное сращивание брусьев или бревен концами, в которых сделаны односторонние наклонные врезки длиной, равной удвоенной высоте сечения, с торцами, равными 0,15 высоты сечения. Косые прирубы стягиваются конструктивными болтами и применяются для соединения прогонов и балок по длине.

Лобовые упоры (рис. 9) являются наиболее простыми и надежными соединениями, применяемыми в большинстве видов деревянных конструкций для крепления сжатых стержней. Они работают и рассчитываются на смятие, возникающее в них от действия сжимающих усилий. На растяжени

работать не могут. Лобовые упоры бывают продольными, поперечными и наклонными.

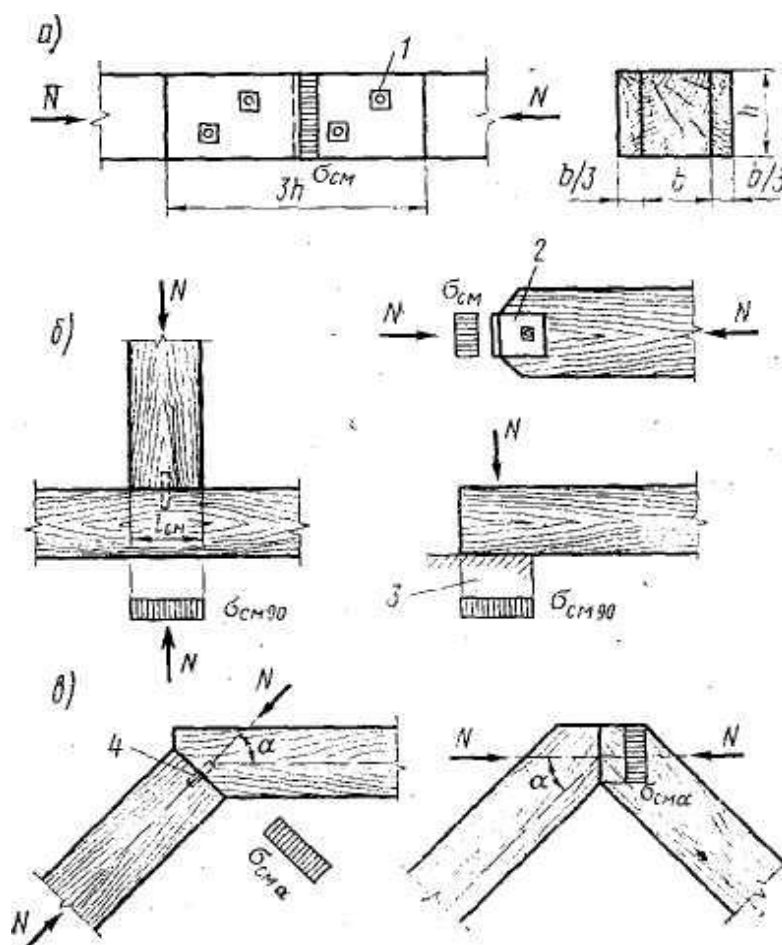


Рисунок 9 – Лобовые упоры: а - продольные; б - поперечные; в - наклонные; 1 – стяжной болт; 2 – узловое крепление; 3 – опора; 4 – штырь

Продольный лобовой упор - это соединение обрезанного под прямым углом конца сжатого стержня с опорой, диафрагмой узла или торца другого такого же стержня в сжатом стыке. В стыке упор перекрывается конструктивно двусторонними накладками толщиной не менее $\frac{1}{3}$ толщины стержней и длиной не менее трех высот сечений на болтах. В продольном лобовом упоре древесина работает на смятие вдоль волокон и имеет наиболее высокое расчетное сопротивление. В большинстве случаев напряжения смятия достигают значительной величины и требуют проверки расчетом только в упорах, где на смятие работает только часть площади торца.

Поперечный лобовой упор - это соединение двух стержней под прямым углом, когда торец сжатого стержня упирается в пласт другого и закрепляется конструктивными накладками на болтах. Так, например, соединяются стойки с верхними и нижними элементами каркаса. В этом соединении древесина торца работает на смятие вдоль волокон, а древесина пласти - поперек волокон. Соединение рассчитывается только по меньшей прочности древесины при местном смятии поперек волокон.

Наклонный лобовой упор представляет собой соединение двух сжатых стержней под углом меньше прямого. При этом конец одного из них образует под прямым углом. Так, например, соединяются подкосы с ригелями в подкосных конструкциях. В этом соединении площадь, где смятие происходит под углом к волокнам древесины, имеет меньшее сопротивление смятию и должна быть проверена по несущей способности при общем смятии под углом.

Лобовая врубка с одним зубом является простым в изготовлении соединением двух стержней углом. Она применяется главным образом для соединения стержней малопролетных ферм и подкосных систем в узлах при их построечном изготовлении, причем один из врубаемый, должен быть обязательно сжат. Примером лобовой врубки является опорный узел треугольной брусчатой малопролетной фермы.

Лобовая врубка с двумя зубьями отличается тем, что сжатый стержень врубается в другой двумя зубьями, в результате чего во врубке образуется две площади смятия и скалывания. Эта врубка является более сложной, трудоемкой и требует повышенной точности изготовления для обеспечения совместной работы всех рабочих площадей. Такая врубка применяется в некоторых случаях для соединения стержней под углом 45° и более.

Соединения с деревянными связями являются трудоемкими и устаревшими соединениями построечного изготовления. Связями служат здесь небольшие деревянные вкладыши. Они плотно вставляются в соответствующие отверстия в соединяемых элементах - бревнах или брусках - и обеспечивают их совместную работу на изгиб, воспринимая сдвигающие усилия. Соединения бывают на шпонках, пластинках и штырях.

Соединения на шпонках выполняют при помощи брусков - шпонок или колодок, которые работают на смятие и скалывание и создают поперечный распор элементов, воспринимаемый болтами. Соединения на пластинках выполняют при помощи дубовых пластинок (пластинчатых нагелей), которые работают на изгиб и смятие древесины и не создают поперечного распора. Соединения на штырях выполняют при помощи дубовых штырей (дубовых нагелей), которые тоже работают на изгиб и смятие без поперечного распора.

Эти соединения применяются в некоторых временных деревянных конструкциях и гидротехническом строительстве.

Соединения со стальными связями

Соединения, в которых усилия отсутствуют или действуют растягивающие, сжимающие или сдвигающие силы, успешно решаются при помощи стальных связей. В число этих связей входят болты, стержни, гвозди, винты, когтевые шайбы, хомуты и некоторые другие связи. Стальные связи в зависимости от характера их работы могут входить в состав стяжных, растянутых или изгибаемых - нагельных соединений. Они являются наиболее универсальными и применяются как при заводском, так и построечном изготовлении деревянных конструкций. Наиболее распространенными стальными связями являются болты и гвозди.

Соединения со стяжными болтами служат для плотного соединения отдельных элементов при их поперечном сплачивании и в некоторых узлах конструкций. В них могут возникать лишь незначительные усилия, и расчет их не требуется. Сечения стяжных болтов устанавливаются по конструктивным соображениям. Диаметр болтов не должен быть меньше 12 мм и меньше $\frac{1}{20}$ общей толщины соединяемых элементов.

Шайбы стяжных болтов должны иметь ширину не менее 3,5 и толщину не менее 0,25 размера их диаметра. В первые годы эксплуатации стяжные болты нередко ослабевают и нуждаются в подтяжке.

Соединения с растянутыми болтами применяются при анкерном креплении деревянных конструкций к опорам, при подвеске к конструкциям перекрытий и оборудования и в узловых соединениях. Они воспринимают действующие в соединениях растягивающие усилия N .

Болт работает и рассчитывается на растяжение по площади сечения ослабленной нарезкой F .

Древесина под шайбами болта работает и рассчитывается на местное смятие. Расчетное сопротивление смятию под шайбами при углах смятия от 90 до 60° принимается с учетом малой площади смятия и значительного поддерживающего действия окружающих участков древесины. Шайбы болтов работают и рассчитываются на изгиб от реактивного давления сминаемой древесины как квадратные пластинки шириной b , опертые в центре на гайку болта.

Соединения с изгибаемыми болтами (рис. 10) относятся к классу нагельных, в которых связи, в данном случае болты, работают главным образом на изгиб без распора. Эти соединения широко применяются в стыках и узлах деревянных конструкций, препятствуя взаимным сдвигам соединяемых элементов, причем усилия в них могут быть знакопеременными. Шайбы этих болтов не воспринимают расчетных усилий и имеют те же размеры, что и стяжные болты. От продольных усилий, действующих в таком соединении, по площади контакта болта с отверстием в древесине соединяемых элементов возникают неравномерные по периметру и длине напряжения смятия, а также скалывания и растяжения поперек волокон между отверстиями. В результате реактивного давления древесины в болте возникают усилия изгиба и среза.

Расстановку болтов в соединении производят по правилам, исключаящим опасность преждевременного разрушения древесины элементов от скалывания и растяжения поперек волокон.

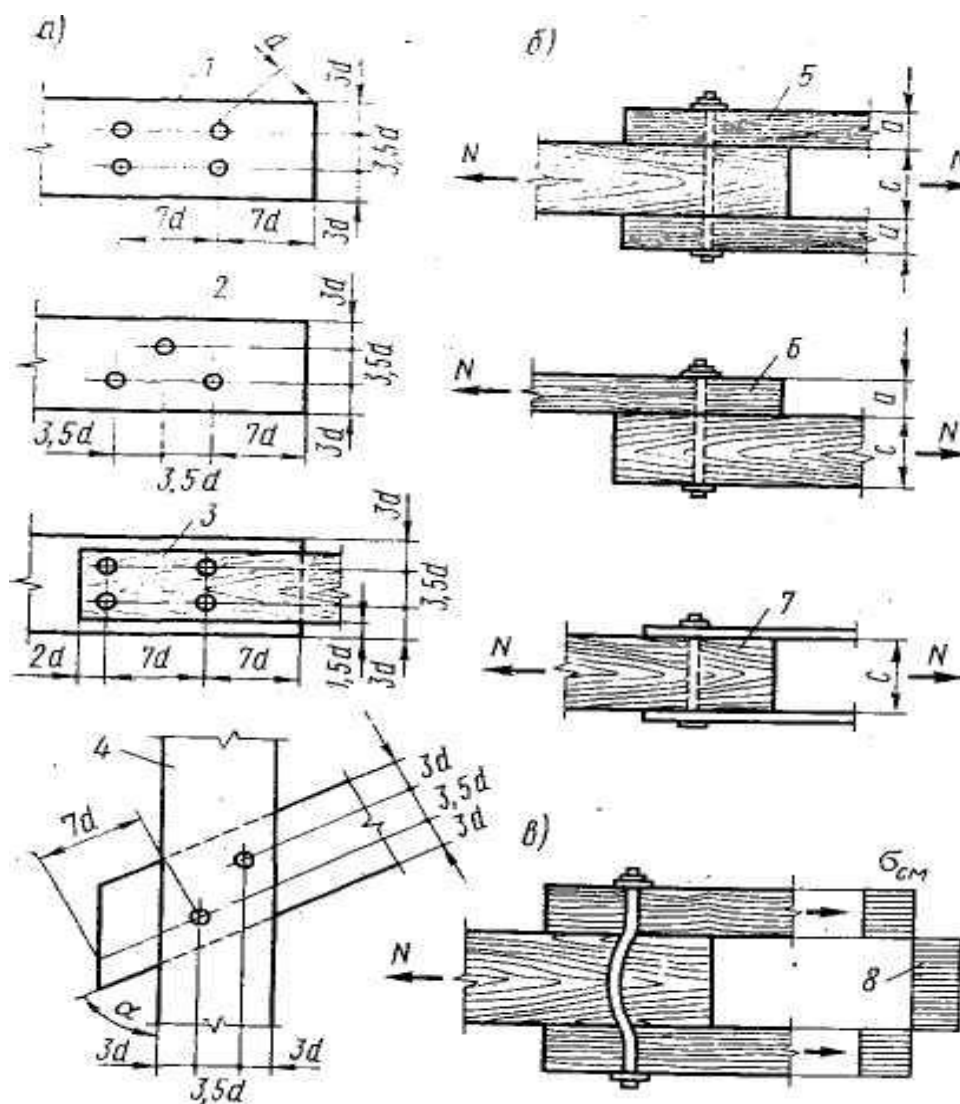


Рисунок 10 – Изгибаемые болты: а - схемы расстановки; б - расчетные схемы; в - схема работы; 1 - прямая расстановка; 2 - шахматная; 3 - в стальных накладках; 4 - в соединениях под углом; 5 - симметричная двухсрезовая схема; 6 - несимметричная односрезовая; 7 - двухсрезовая одноосная; 8 - эпюра напряжений смятия;

Болтовые соединения могут быть симметричными, когда продольные силы действуют вдоль одной оси, относительно которой симметрично расположены элементы, и несимметричными, когда оси элементов не совпадают и симметрия соединения отсутствует. Соединяемые элементы могут располагаться по одной оси вдоль волокон или под углом друг к другу.

Срезами в болтовых соединениях называются пересечения болтов с плоскостями сдвига между элементами, от числа которых прямо зависит несущая способность соединения. Однако напряжения среза в болтах незначительны и не определяют их несущей способности.

Например, наиболее распространенный болтовой стык растянутых стержней с двусторонними деревянными накладками является симметричным "двухсрезовым соединением, а стык элементов, расположенных в разных плоскостях, без накладок, - несимметричным односрезовым соединением.

Расчет болтового соединения производят по несущей способности в одном срезе болта по изгибу и древесины соединяемых элементов по смятию.

Несущая способность болтовых соединений была определена теоретически, причем болт считался балкой, лежащей на упругом основании - древесине соединяемых элементов.

Несущая способность одного среза болта зависит от размеров его диаметра d , толщины среднего элемента симметричных и более толстого или равного элемента несимметричных соединений s , толщины крайнего элемента симметричных и более тонкого элемента несимметричных соединений a и угла наклона волокон соединяемых элементов α .

Болтовые соединения со стальными накладками применяются в узлах конструкций. Накладки обычно делаются двусторонними из листовой стали. Расстояние от осей болтов до краев накладок должно быть не менее двух диаметров болтов вдоль и полутора - поперек усилия. Эти соединения на изгибаемых болтах являются симметричными и двусрезными.

Соединения с изгибаемыми стальными стержнями выполняются с применением арматурной стали класса S240 со снятыми фасками. Они тоже относятся к классу нагельных с цилиндрическими нагельями. Эти соединения работают и рассчитываются так же, как соединения с изгибаемыми болтами. Расставляются они по тем же правилам, что и болты. В болтовых соединениях с целью снижения их стоимости может быть заменено до 75% болтов стержнями. Короткие стержни в соединениях со стальными накладками вставляются в несквозные отверстия в древесине. Они работают и рассчитываются как односрезные, несимметричные изгибаемые соединения и называются глухими нагельями.

Подбор сечений болтов, и стержней производят из условия, чтобы сумма допускаемых расстояний между продольными осями и до кромок элемента, зависящих от их диаметра, не превышала высоты сечения элемента.

Гвоздевые соединения.

Соединения с конструктивными гвоздями применяются для крепления дощатых обшивок и настилов. Гвозди в них не несут существенных усилий и не рассчитываются.

Соединения с выдерживаемыми гвоздями относятся к классу соединений с растянутыми связями. Они применяются для крепления досок подшивок потолков, щитов перекрытий и опалубки. От действия нагрузок в этих соединениях возникают растягивающие усилия N , стремящиеся выдернуть гвозди из древесины элемента, к которому прибиты доски. Этому усилию сопротивляются силы трения между поверхностью гвоздей и окружающей древесиной.

Соединения с изгибаемыми гвоздями относятся к тому же классу нагельных соединений, что и изгибаемые болтовые соединения. Они применяются в стыках и узлах дощатых конструкций, препятствуя взаимным смещениям соединяемых элементов. Соединения с изгибаемыми гвоздями работают и рассчитываются аналогично соединениям с изгибаемыми болтами — гвозди работают на изгиб, а окружающая древесина — на смятие с некоторыми особенностями.

Гвозди имеют повышенное по сравнению с болтами сопротивление изгибу, поскольку их холоднотянутая проволока имеет более высокий предел текучести. Ввиду малой толщины и плотного защемления в древесине несущая способность гвоздевых соединений не зависит от угла действия усилий по отношению к направлениям волокон в соединениях под углом и коэффициент при расчете не учитывается. Если гвоздь пробивает все элементы соединения насквозь, расчетная толщина последнего элемента уменьшается на 1,5, учитывая опасность отщепления крайних волокон при выходе острия.

Соединения с когтевыми шайбами относятся к классу соединений на шайбах шпоночного типа. Они представляют собой стальные пластинки, в которых методом штамповки образованы многочисленные односторонние острия - когти. Шайбы забиваются или впрессовываются с двух сторон в древесину соединяемых элементов. Известны два основных типа когтевых шайб - Леннова и «ГЭНГ-НЕЙЛ». Шайбы Леннова имеют круглую форму и центральное отверстие для болта. При сборке конструкций элементы соединяются стальными накладками, прикрепляемыми к гайкам болтами. Шайбы «ГЭНГ-НЕЙЛ» имеют прямоугольную форму, впрессовываются одновременно в соединяемые элементы при сборке и не требуют стальных накладок и болтов. Острия шайб работают на изгиб, а окружающая древесина - на смятие. Несущую способность шайб определяют экспериментально.

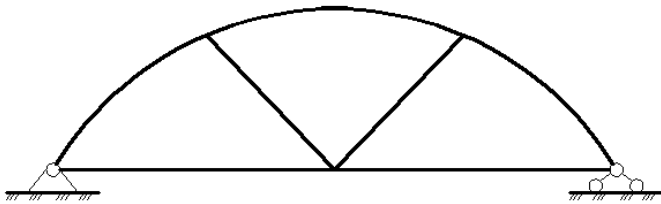
Тема 4. Плоские сквозные конструкции. Фермы - основные виды и расчет

Сквозными несущими деревянными конструкциями называются такие, в которых пояса соединены друг с другом не сплошной стенкой из досок или фанеры (как в плоских сплошных конструкциях), а решеткой, состоящей из отдельных стержней – раскосов и стоек.

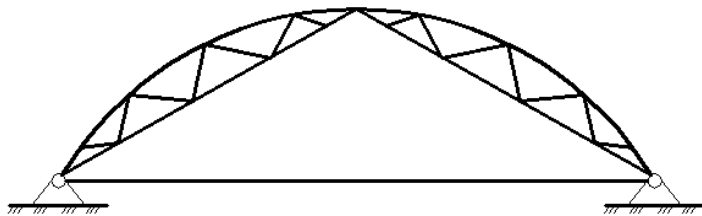
Применение решетки вместо сплошной стенки уменьшает расход материала на конструкцию, особенно при больших пролетах. В то же время сквозные конструкции имеют большое количество узлов в местах соединения решетки с поясами, что значительно усложняет изготовление таких конструкций. Поэтому выбор типа конструкций - сплошной или сквозной производится на основе технико-экономических данных с учетом назначения помещения.

Сквозные конструкции бывают:

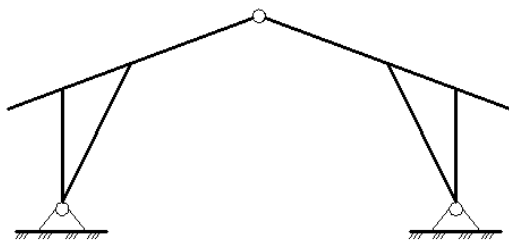
- 1) балочные (фермы);
- 2) распорные (арки и рамы);
- 3) решетчатые стойки.



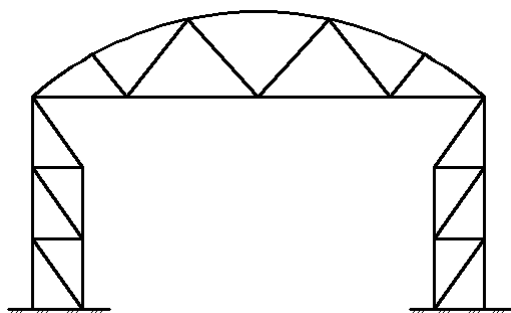
ферма



сквозная арка



рама с подкосами



решетчатая стойка

О сквозных распорных конструкциях и о решетчатых стойках говорилось в предыдущих лекциях. Сегодня мы займемся изучением основного вида сквозных конструкций - ферм. Фермы применяют, как правило, в статически определимых схемах в отношении как опорных закреплений, так и решения решетки.

В зависимости от конструктивных особенностей, связанных с методом изготовления, фермы подразделяют на фермы заводского (из клееных элементов) и построечного изготовления (из цельных элементов)

Наибольшее распространение в строительстве получили фермы заводского изготовления. К ним относятся металлодеревянные фермы, верхний пояс и сжатые стержни решетки которых выполнены из клееной древесины, а нижний пояс и растянутые стержни решетки - из стали.

Преимущества клееной древесины позволяют применять в случае необходимости, например, в условиях агрессивных сред, не только стальной, но и деревянный нижний пояс.

По очертанию фермы подразделяются на:

1. Треугольные;
2. Трапециевидные;
3. Многоугольные (чаще пятиугольные);
4. Сегментные.

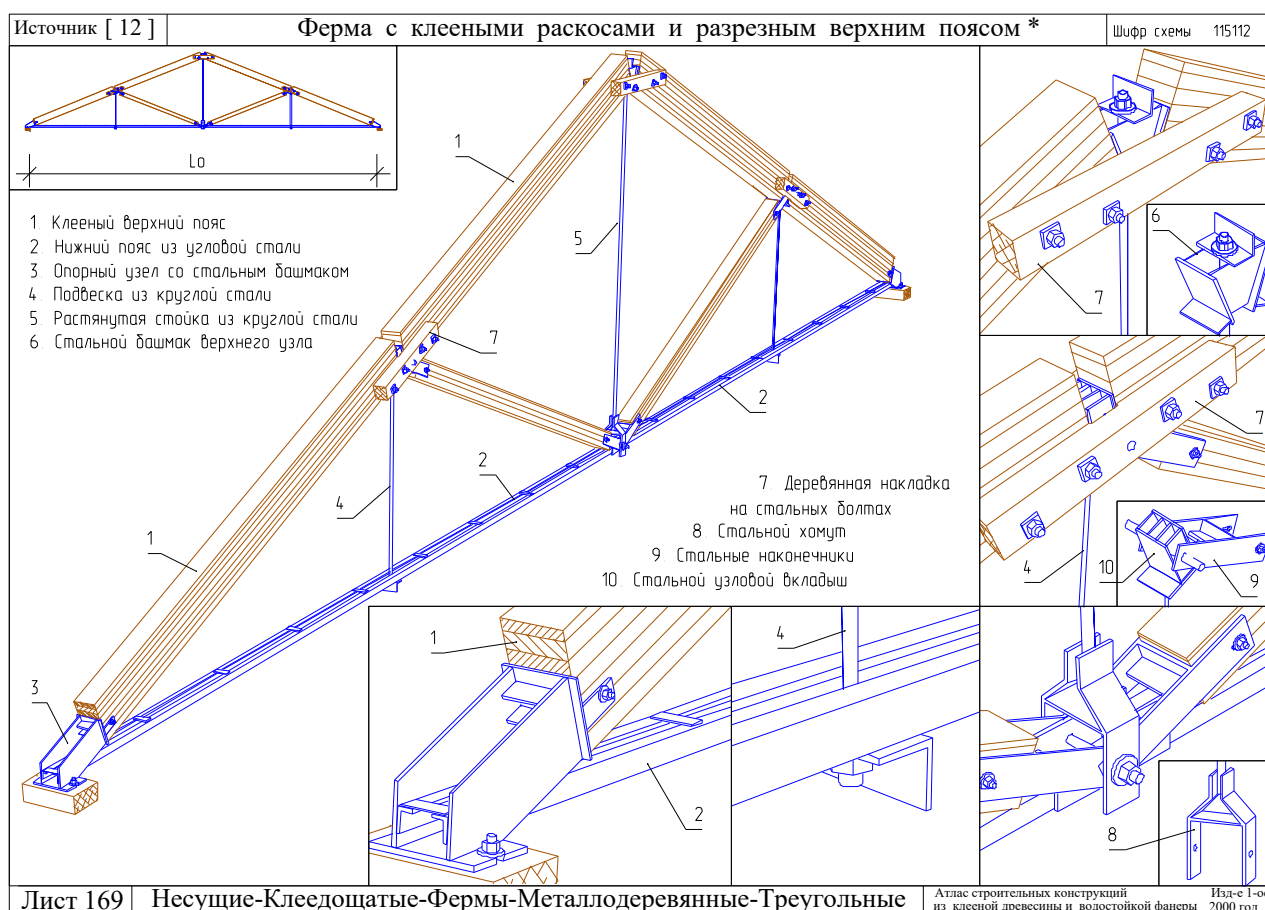


Рисунок 11 – Треугольная металлодеревянная ферма

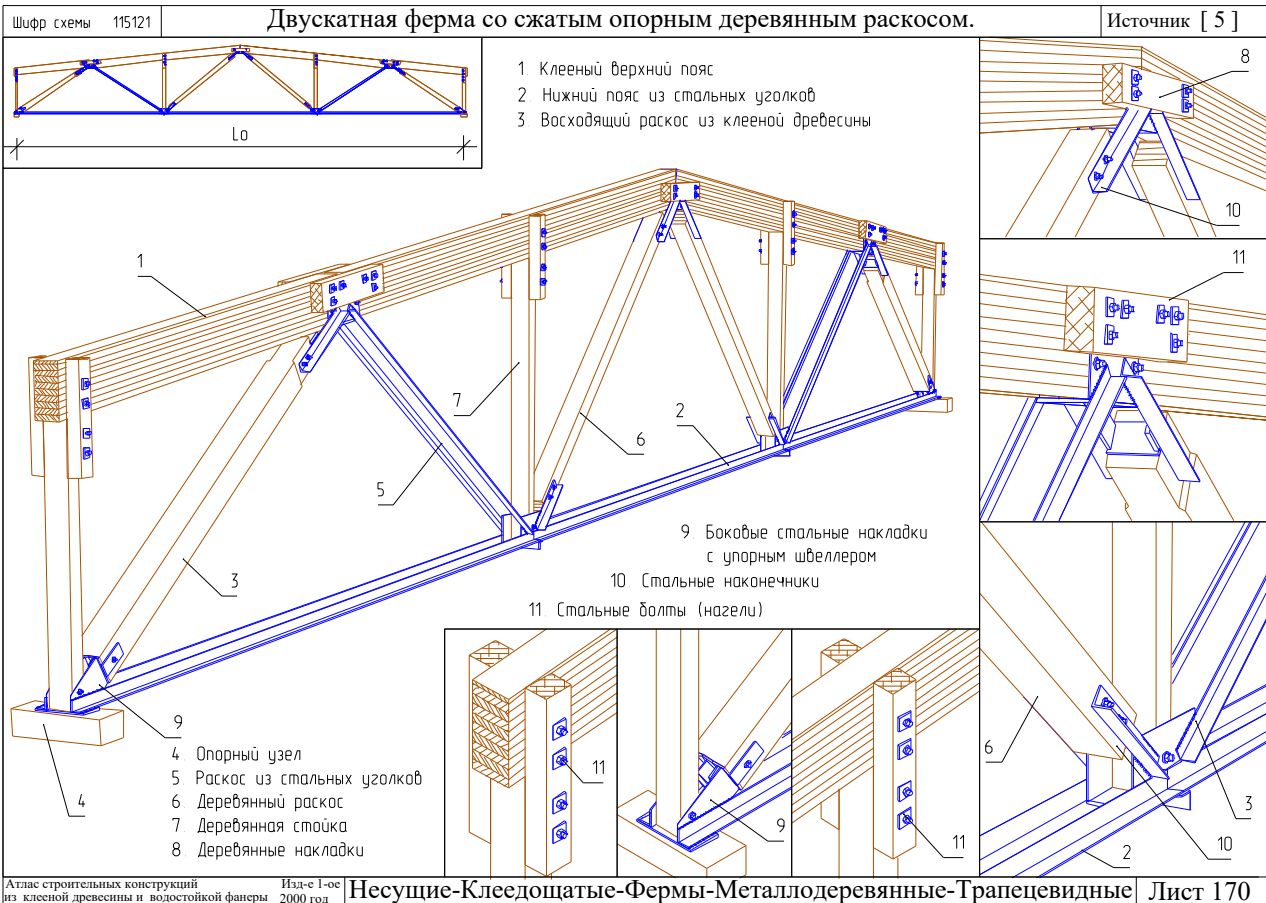


Рисунок 12 – Пятиугольная металлодеревянная ферма

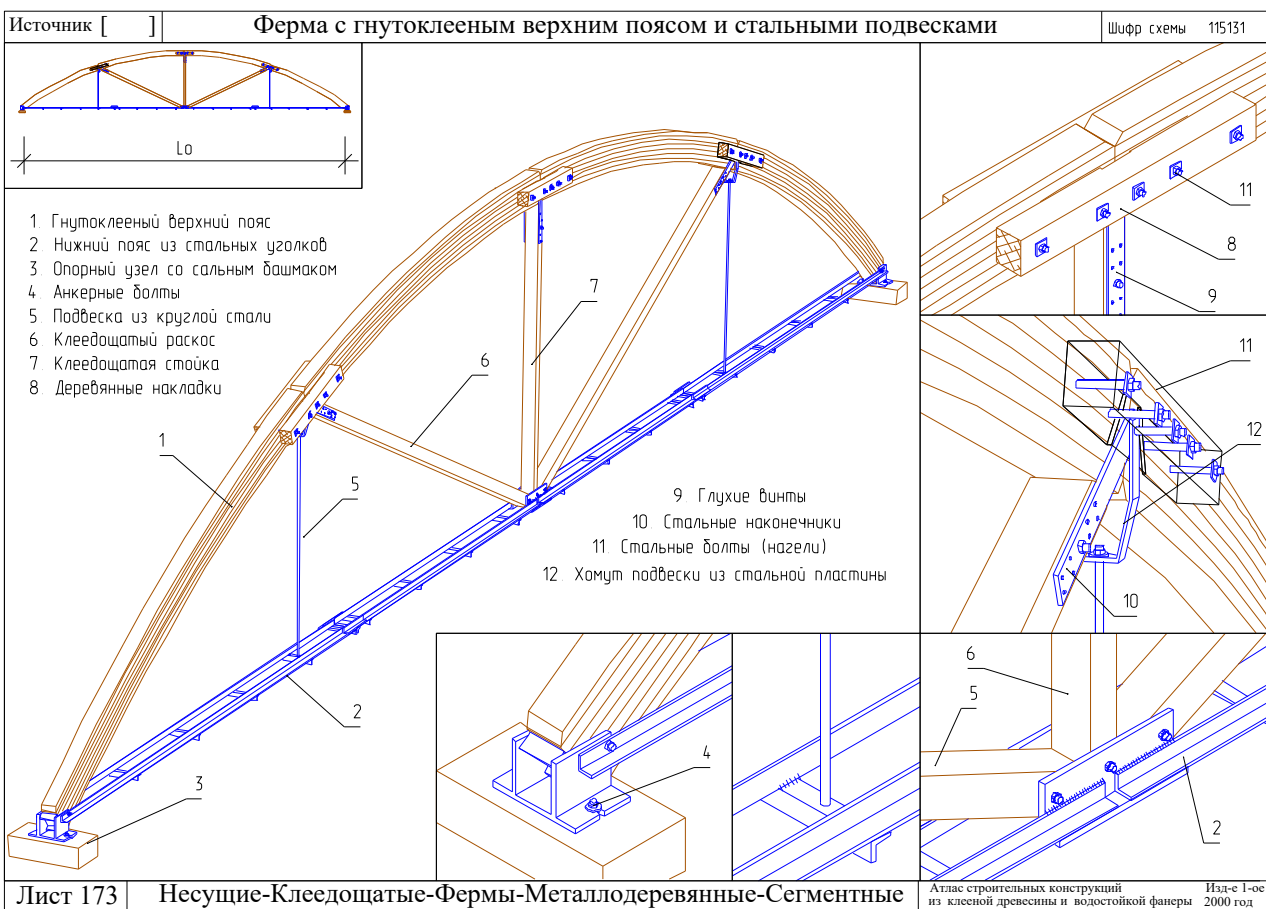


Рисунок 13 – Сегментная металлодеревянная ферма

С целью уменьшения величины изгибающего момента передача сжимающего усилия в узлах верхнего пояса из прямолинейных элементов осуществляется с эксцентриситетом, как в арках. Первую панель нижнего пояса, в котором отсутствуют усилия, может быть деревянной, а опорный нисходящий раскос, воспринимающий большое растягивающее усилие - стальным, как и среднюю панель нижнего пояса. Трапециевидная односкатная ферма имеет аналогичное конструктивное решение.

Могут применяться так же фермы с параллельными поясами.

Треугольные клееные фермы могут иметь верхний пояс из двух клееных панелей разной длины, более длинной и мощной является первая от опоры панель. Из клееной древесины выполняются также два раскоса. Нижний пояс и растянутый тяж принимаются стальными. Панели верхнего пояса в узлах стыкуют с эксцентриситетом.

Сегментные клееные фермы komponуются с таким расчетом, чтобы дуга верхнего пояса была из криволинейных элементов одинаковой длины. Все узлы, включая узлы верхнего пояса, центрируют по осям элементов. Верхний пояс такой фермы может быть разрезным или неразрезным. Благодаря криволинейному очертанию верхнего пояса создается обратный выгиб по отношению к оси изгиба пояса под действием внешней нагрузки, поэтому эта ферма имеет мало нагруженную решетку, что упрощает конструкцию ее элементов и узлов.

К фермам построечного изготовления относятся фермы, элементы которых выполнены из цельных не клееных бревен, брусьев или досок с узловыми соединениями на нагелях (болтах, гвоздях) или на лобовых врубках. Растянутые элементы решетки и нижний пояс фермы часто делается стальными.

По очертанию фермы построечного изготовления могут быть треугольными и многоугольными.

Фермы из центральных элементов со стальным нижним поясом при треугольном очертании позволяет просто организовывать плоскую скатную кровлю. В этих фермах верхний пояс и раскосы делают из брусьев, а центральную растянутую стойку - из круглой стали.

При многоугольном очертании, приближающемся к очертанию эпюры моментов в простой балке, усилия в панелях верхнего пояса мало меняются от эпюры к середине пролета и в элементах решетки возникают небольшие усилия. Это дает возможность создавать как верхний пояс, так и элементы решетки из древесины и только нижний растянутый пояс делается из профильной стали.

Недостатком такой фермы является небольшое число узлов.

Фермы на лобовых врубках имеют треугольное или пятиугольное очертание.

Схема решетки в этих фермах такова, что деревянные раскосы оказываются сжатыми, а металлические стойки - растянутыми. Это позволяет крепить сжатые раскосы к поясам с помощью лобовых врубок, воспринимающих только сжимающие усилия а растянутые стойки (тяжи) делать из круглой стали. Тяжи на одном конце снабжены резьбой и гайкой, что обеспечивает возможность уплотнения узлов при сборке.

В пятиугольных фермах вблизи середины пролета при односторонней снеговой нагрузке раскосы могут получать растягивающие усилия и выключаться из работы.

Для сохранения геометрической неизменяемости решетку фермы снабжают дополнительными компенсирующими нисходящими раскосами.

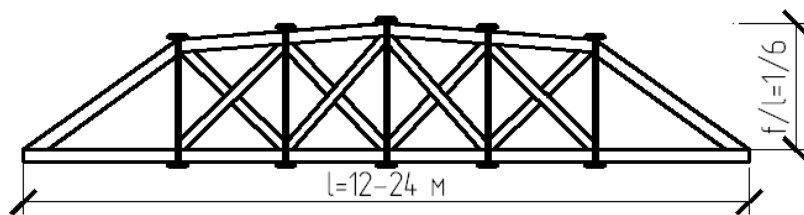


Рисунок 14 – Пятиугольная ферма из брусьев или бревен на лобовых врубках.

Расчет ферм.

Порядок расчета ферм такой же, как и порядок расчета плоских несущих деревянных конструкций:

- 1) статический расчет;
- 2) подбор сечения элементов фермы;
- 3) расчет узлов.

Расчету ферм предшествует сбор нагрузок. Нагрузки, действующие на ферму, складываются из постоянных (от собственной массы фермы и ограждающих конструкций покрытия) и временной (чаще всего только от снега).

Статический расчет фермы сводится к определению усилий от внешних нагрузок в элементах фермы. Для всех стержней определяется значение продольной силы N , а для верхнего пояса еще и изгибающий момент M .

Определение усилий в стержнях можно производить графически или аналитически. При этом в схемах сегментных ферм криволинейные оси панелей верхнего пояса на участках между соседними узлами заменяют хордами, стягивающими эти дуги.

Усилия определяют отдельно:

- 1) для случая загрузки снеговой равномерно распределенной нагрузкой на половине пролета;
- 2) для случая загрузки снеговой нагрузкой на всем пролете;
- 3) для случая загрузки постоянной нагрузкой (собственный вес фермы и вес ограждающих конструкций покрытия) на всем пролете фермы.

Целесообразно сначала определить усилие от единичной нагрузки, а затем, умножив на величины фактических нагрузок, получить истинные значения усилий в стержнях.

При вычислении усилий в средних раскосах учитывают два случая: когда раскос сжат и когда растянут.

Расчетные усилия в стержнях определяются при следующих двух комбинациях нагрузок:

- 1) Равномерно распределенная постоянная нагрузка на всем пролете, временная (снег) - на половине пролета фермы.
- 2) Равномерно распределенная постоянная и временная нагрузки на всем пролете фермы.

Подбор сечений элементов фермы.

Ширина сечения элементов фермы определяется по предельному значению гибкости. Для элементов ферм установлены следующие предельные значения гибкостей ($\lambda_{пр}$):

- для верхнего пояса $\lambda_{пр}=120$;
- для элементов решетки $\lambda_{пр}=150$;
- для нижнего пояса из стали $\lambda_{пр}=400$.

Ширину сечения верхнего пояса и элементов решетки целесообразно назначать по значению радиуса инерции.

$$r = \frac{l}{\lambda_{пр}}, \text{ где } l - \text{ расчетная длина стержня фермы}$$
$$b_{min} = \frac{r}{0,29}$$

Высоту сечения верхнего пояса определяют, пользуясь приближенной формулой для момента сопротивления:

$$W = \frac{M_{MAX}}{0,8R_{и}}$$

Момент сопротивления с другой стороны равен:

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$

Отсюда по известным b и W находят h .

После подбора сечений элементов фермы, выполняют проверку их прочности.

Сжатые элементы ферм проверяют на устойчивость по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \times F_{расч}} \leq R_c$$

φ – коэффициент продольного изгиба, принимаемый по СНиП;

R_c – расчетное сопротивление древесины сжатию.

Растянутые деревянные элементы проверяют на прочность по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_p$$

стальные по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F \times m} \leq R$$

где m – коэффициент условия работы (если пояс состоит из двух элементов, то $m=0,85$).

В случае, когда верхний пояс нагружен межузловой нагрузкой, его проверяют, как сжато – изогнутый элемент на прочность по формуле:

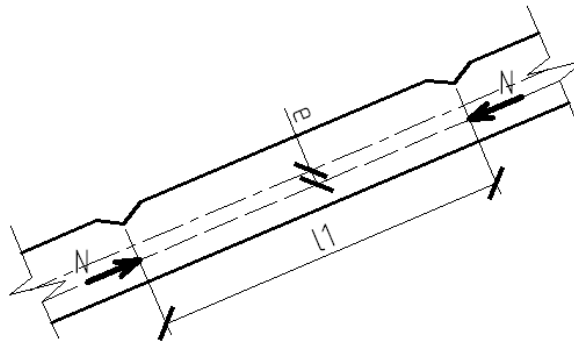
$$\sigma = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_d}{W_{расч}} \leq R_c$$

$$M_d = \frac{\xi}{M}$$

Изгибающий момент M , вызванный наличием межузловой равномерно распределенной нагрузки, определяется по балочным формулам:

$$M = \frac{q \times l^2}{8}$$

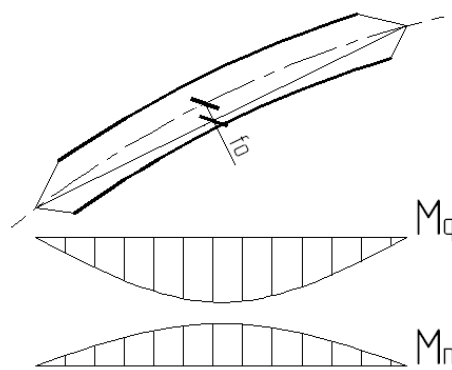
Значение изгибающего момента M_q может быть уменьшено за счет разгружающего момента M_n , создаваемого путем эксцентричного приложения продольной сжимающей силы N .



Суммарный изгибающий момент в середине пролета l , в этом случае вычисляется по формуле

$$M = M_q - M_n, \text{ где } M_n = N \cdot e$$

В сегментных фермах эксцентриситет силы N получается за счет кривизны оси панели верхнего пояса.



Продольная сила, направленная по хорде дуги создает разгружающий изгибающий момент

$$M_n = N \cdot f_0$$

Значение f_0 можно вычислить по формуле:

$$f_0 = \frac{l_0^2}{8r_0}$$

l_0 - длина хорды;

r_0 - радиус дуги, по которой очерчен верхний пояс.

Для неразрезного верхнего пояса изгибающие моменты в крайней от опоры панели будут равны:

- в середине пролета $M'_{\text{пр.}} = \frac{q \times l^2}{14} - 0,64 \times N \times f$

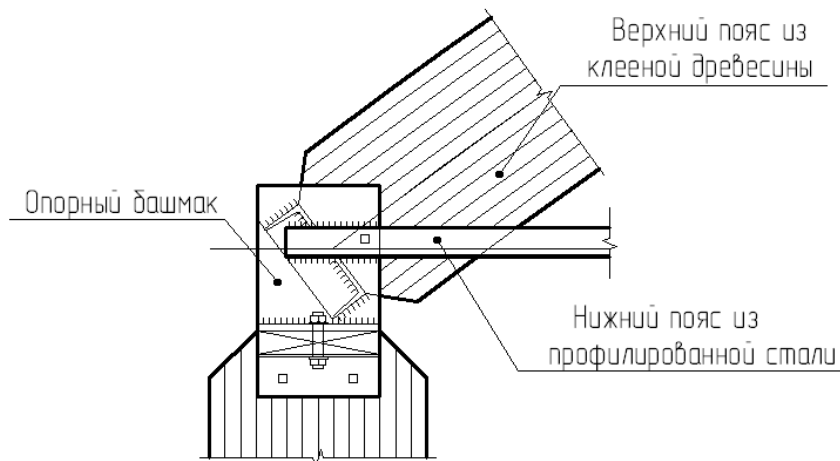
- на опоре $M'_{\text{оп.}} = -\frac{q \times l^2}{10} + 0,72 \times N \times f$

Прогибы ферм при соблюдении требований по отношению стрелы подъема и длины пролета (f/l) не проверяют, так как эти соотношения обеспечивают требуемую жесткость ферм.

Для предотвращения нежелательных последствий, вызванных перемещениями узлов и прогибов нижнего пояса, возникающих все же в процессе эксплуатации, фермы проектируют со строительным подъемом ($\sim \frac{1}{200 \times l}$). При вычислении усилий строительный подъем не принимают во внимание.

Расчет и конструирование узлов ферм.

Опорные узлы ферм из дощатоклеевых элементов, осуществляют путем упора крайней панели верхнего пояса в стальной опорный башмак, к которому приварены стальные элементы нижнего пояса.



Опорный узел проверяется на смятие по площадке смятия $F_{\text{см}}$ по формуле:

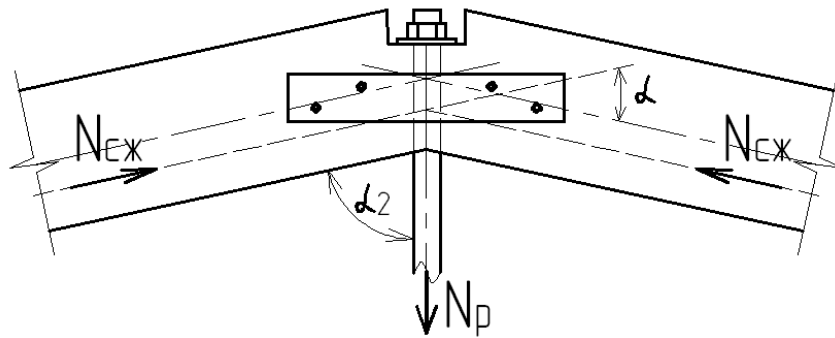
$$\sigma = \frac{N}{F_{\text{см}}} \leq R_{\text{см}}$$

Стальная опорная диафрагма рассчитывается на изгиб.

Узлы верхнего пояса.

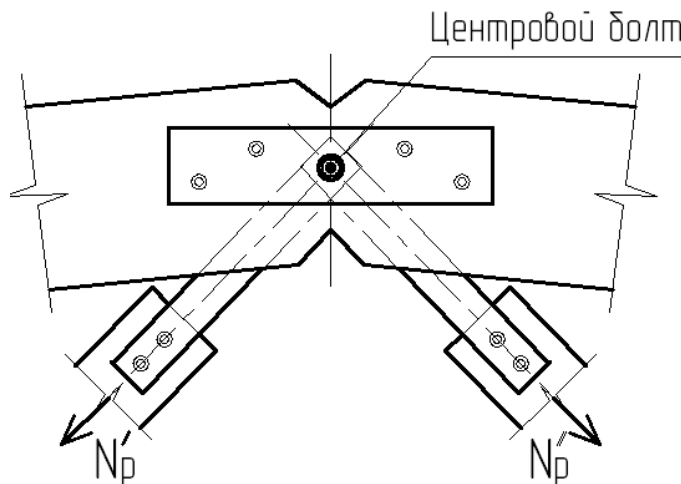
Средний коньковый узел треугольной фермы решается в виде наклонного лобового упора, перекрытого деревянными или металлическими накладками на болтах.

Растянутая стойка в виде стального тяга с нарезкой на конце пропускается через отверстие, проходящее через центр узла, и закрепляется гайкой на шайбе.



Расчетом этого узла проверяется напряжение смятия под углом к волокнам в лобовом упоре и на смятие под углом α_2 под шайбой стойки. Поперечная сила в узле воспринимается накладкой с болтами.

Узлы верхнего пояса сегментных ферм решаются с помощью стальных накладок – наконечников, соединенных с раскосами болтами и прикрепленных к болту, проходящему через центр узла.

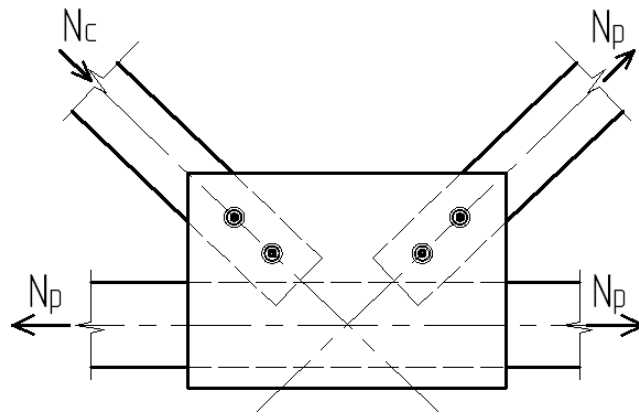


Центровой болт рассчитывают на восприятие равнодействующей силы от продольных сил в раскосах.

Расчетом также определяется количество болтов в наконечниках и напряжение смятия торцов верхнего пояса. Промежуточные узлы примыкания стоек и раскосов к верхнему поясу решаются аналогичным образом.

Узлы нижнего пояса металлодеревянных ферм выполняются с помощью двух фасонок, приваренных к поясу. К фасонкам болтами крепятся деревянные раскосы.

Болты рассчитываются на максимальные усилия в раскосах.



Узлы ферм из цельных элементов на лобовых врубках решаются и рассчитываются по правилам конструирования и расчета соединений на врубках (на смятие и скалывание).

Тема 5. Пластмассы, как материал для строительных конструкций. Основные виды конструкционных пластмасс и области их применения

Пластическими массами (или пластмассами) называют материалы, которые в качестве основного компонента содержат синтетический полимер.

Полимеры - это высокомолекулярные соединения, состоящие из гигантских молекул линейной, разветвленной или трехмерной сетчатой структуры (пространственные решетки).

В большинстве случаев эти молекулы содержат многократно повторяющиеся структурные элементарные звенья (группы атомов), соединенные силами химических связей.

Получают полимеры из исходных низкомолекулярных органических веществ (мономеров), отдельные молекулы которых благодаря двойным или тройным связям способны соединяться между собой с образованием многократно увеличенной молекулярной массы, т. е. полимера.

Название полимера образуется обычно от названия того мономера, того из которого он был получен. Так, например, полиэтилен получают из этилена, поливинилхлорид - из винилхлорида, полистирол - из стирола и т.д.

Иногда название полимера образуется в зависимости от вида реакционно-химических групп, соединяющих молекулы мономеров - полиамиды, полиэфир и т.д.

В основе технологий синтеза высокомолекулярных соединений лежат два основных метода получения полимеров - полимеризация и поликонденсация, различающиеся как по механизму реакции, так и по строению образующихся полимеров.

Полимеризация - это цепной процесс соединения большого числа молекул одного и того же вещества в одну большую макромолекулу. Этот процесс протекает обычно при определенной температуре и давлении без выделения каких-либо низкомолекулярных веществ. При полимеризации химический состав полимера соответствует химическому составу исходного мономера.

Поликонденсация - это химический процесс получения полимеров из мономеров различных исходных веществ, сопровождающиеся выделением побочных продуктов (воды, спирта и др.)

Поликонденсацией получают фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные смолы, полиамиды, полиэфир и другие полимеры.

Кроме процессов полимеризации и поликонденсации, применяют ещё весьма перспективный процесс **сополимеризации**, который заключается в совместной полимеризации двух или более различных по химическому составу мономеров; такие реакции в результате дают сополимеры, обладающие новыми свойствами, отличающимися от свойств полимеров на основе каждого исходного мономера. Установлено, что сополимеры обладают более ценными свойствами, чем полимеры, полученные из тех же мономеров. Подбором мономеров с различными свойствами можно широко изменять физико-механические свойства полимера.

Чаще всего полимеры находятся в аморфном стеклообразном состоянии и носят названия синтетических смол (фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, полиэфирные и др.). Некоторые полимеры, однако,

обладают способностью к кристаллизации и не являются смолами (например, нейлон, целлюлозы и её производные).

Синтетические смолы в зависимости от влияния на них температуры делятся на две группы:

Термопластичные (обратимые) смолы при нагревании размягчаются и становятся пластичными, а при охлаждении снова отвердевают. Такой процесс может повторяться, не внося изменения в химические свойства смолы. К термопластичным смолам относится полиэтилен, полистирол, полиамид, полиоритан и ряд других.

Термореактивные (необратимые) смолы, будучи отформованы в процессе изготовления, переходят в неплавкое нерастворимое состояние и вновь формоваться уже не могут. Иначе говоря, термореактивные смолы переходят из вязко-текучего в твёрдое состояние только один раз.

К таким материалам относятся фенолоформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные и другие смолы.

Пластмассы в большинстве своем представляют многокомпонентные смеси.

Компонентами пластмасс являются:

1. Связующие вещества - это основной (а иногда и единственный) компонент пластмасс.

Обычно связующим являются синтетические смолы, хотя могут использоваться и связующие природные вещества, например, эфиры целлюлозы, естественные смолы.

2. Наполнители – компоненты, вводимые в пластмассы с целью улучшения их механических и технологических свойств - повышение теплостойкости, снижения стоимости. Наполнители бывают неорганического и органического происхождения и вводятся в материал в виде порошков, волокон или листов (древесная мука, цемент, стеклянные и асбестовые волокна, бумага, хлопчатобумажные и стеклянные ткани и т.д)

3. Модифицирующие добавки. При формировании полимера (связующего) применяются обязательные добавки- отвердители. Кроме этого могут применяться ускорители (вещества ускоряющие отвердевание), катализаторы (вещества, не участвующие в отвердевании, но присутствие которых необходимо для протекания процесса отвердевания), пластификаторы (вещества, уменьшающие хрупкость готового материала), ингибиторы (вещества, замедляющие процесс отвердевания) и другие добавки.

4. Красители. Окраска пластмасс осуществляется путем введения красителей в массу материала. Нужный рисунок и цвет могут быть так же получены, если они предварительно нанесены на наружный слой листового наполнителя (бумага, ткань).

5. Порообразователи - это добавки, применяемые для получения газонаполненных материалов- пенопластов.

Классификация пластмасс.

В зависимости от вида смол под влиянием на них температуры, пластмассы делятся на два вида: а) термопластичные пластмассы (или термопласты) на основе термопластичных смол; б) термореактивные (реапласты) на основе термореактивных смол.

Термопластичные пластмассы обычно называются по связующему веществу, исходя из наименования мономера с добавлением приставки «поли-»(поливинилхлорид, полиэтилен, полистирол и др.)

Терморезактивные - по виду наполнителя (стеклопластики, древесные пластики и др.)

В зависимости от структуры пластмассы можно разделить на две основные группы:

- 1) пластмассы без наполнителя (не наполненные);
- 2) пластмассы с наполнителем (наполненные).

Применение пластмасс в качестве материала для строительных конструкций объясняется рядом достоинств этого материала:

- высокой прочностью, составляющей для большинства пластмасс (кроме пенопластов) 50-100 МПа, а для некоторых стеклопластиков прочность достигает 1000 МПа;

- малой прочностью (объемной массой) находящихся в пределах от 20 (для пенопластов) до 2000 кг\м³ (для стеклопластиков);

- стойкостью к воздействию химически агрессивных сред;

- биостойкостью (неподверженность гниению);

- простотой формообразования и легкой обрабатываемостью;

- высокими электроизоляционными свойствами и некоторыми другими положительными свойствами.

Вместе с тем пластмассы имеют и недостатки, такие, например, как деформативность, ползучесть и падение прочности при длительных нагрузках, старение (ухудшение эксплуатационных свойств во времени), сгораемость, использование в качестве сырья дефицитных нефтепродуктов.

Влияние недостатков пластмасс можно уменьшить разными путями. Так, уменьшение деформативности добиваются применением рациональных форм поперечного сечения конструкций (трехслойные, трубчатые).

Сгораемость и старение можно уменьшить путем введения специальных добавок.

Основные виды конструкционных пластмасс и области их применения.

К пластмассам, которые находят и будут находить в будущем наибольшее применение в строительных конструкциях относятся стеклопластики, оргстекло, винипласт, полиэтилен, тепло- и звукоизоляционные материалы, древесные пластики.

Стеклопластики.

Стеклопластики представляют собой материалы, состоящие из стекловолокнистого наполнителя и связующего.

В качестве связующего обычно используются терморезактивные смолы (полиэфирная, эпоксидная, фенолоформальдегидная). Стекловолокно является армирующим элементом, прочность которого достигает 1000-2000 МПа. Основой стекловолокна являются элементарные волокна.

Элементарные волокна (первичные нити) получают из расплавленной стеклянной массы, вытягивая ее через небольшие отверстия- фильеры;

элементарные волокна (порядка 200) диаметром 6-20 мкм объединяют в нити, а несколько десятков нитей - в жгуты (крученые нити).

В стеклопластиках, применяемых в строительстве, используют следующие стекловолокнистые наполнители:

а) прямолинейные непрерывные волокна, вводимые в виде жгутов, нитей или элементарных волокон.

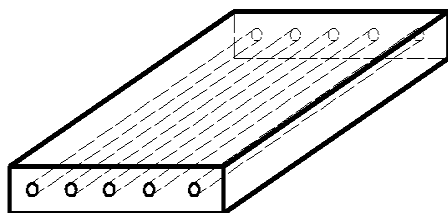
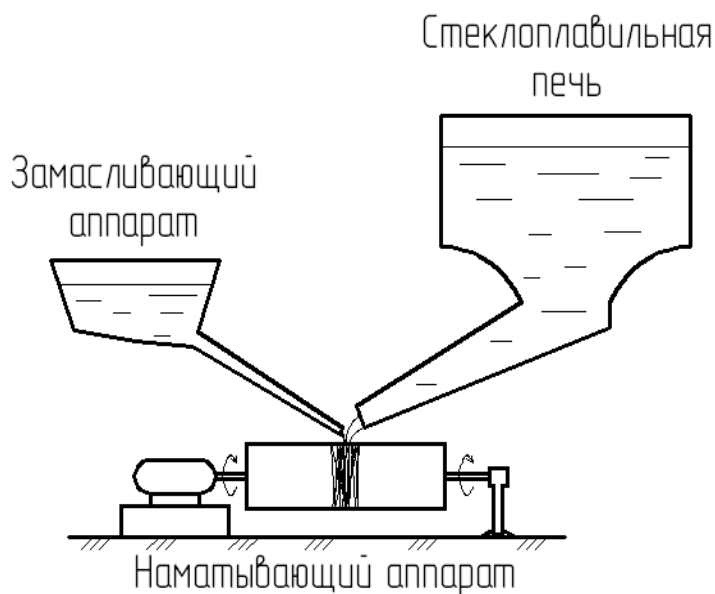
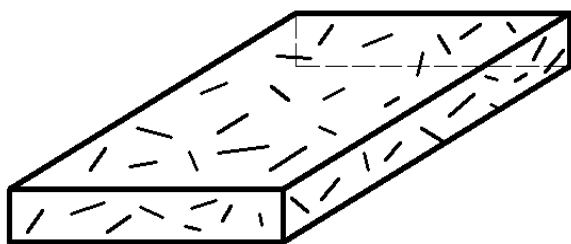


Схема получения непрерывного стекловолокна.



б) рубленое стекловолокно в виде хаотически расположенных отрезков длиной приблизительно 50 мм.



Механические свойства стеклопластиков зависят от вида стекловолокнистого наполнителя. Наиболее высокими механическими свойствами обладают стеклопластики, армированные непрерывным прямолинейным стекловолокном. В направлении волокон их прочность достигает 1000 МПа при растяжении, а модуль упругости до 40000 МПа, однако, в поперечном направлении прочность стеклопластиков не велика (примерно в 10 раз меньше).

Все стеклопластики, армированные в одном или в двух взаимноперпендикулярных направлениях, являются материалами анизотропными.

Стеклопластики, армированные рубленым стекловолокном, являются изотропными материалами.

Существуют следующие виды стеклопластиков:

1) **Пресс - материалы типа СВАМ** (стекловолокнистый анизотропный пресс-материал) является одним из первых высокопрочных стеклопластиков, полученных путем прессования стеклошпонов (шпонов из однонаправленного стекловолокна).

Получают его таким образом: после намотки определенного числа слоев пропитанной нити однонаправленный материал срезают. В развертке он представляет собой квадратный лист размером 3х3 м². Затем поворачивают лист на 90 градусов и вновь наматывают слой нитей. Таким образом, получается стеклошпон с взаимно-перпендикулярным расположением волокон. Предел прочности СВАМ при растяжении и сжатии составляет 400-500 МПа, а при изгибе, приблизительно, 700 МПа.

2) Пресс - материалы АГ-4С и АГ-4В.

АГ-4С представляет собой однонаправленную ленту, полученную на основе крученых стеклянных нитей и аминофинолоформальдегидной смолы. АГ-4С предназначается для получения высокопрочных изделий методом прямого прессования или намотки.

Пределы прочности при сжатии и изгибе ниже, чем у СВАМ – 200-250 МПа, а при растяжении несколько выше.

Пресс – материал типа АГ-4В представляет собой стекловолокнит на основе срезов первичной нити. Специально подготовленный стекловолокнистый наполнитель смешивают с фенолоформальдегидной смолой, затем сушат.

Стеклопластики типа СВАМ, АГ-4С и АГ-4В используют для изготовления соединительных деталей (болтов, фасонки) и для профильных изделий, эксплуатируемых в химически агрессивных средах, где металл быстро корродирует. Все перечисленные стеклопластики являются светонепроницаемыми. Однако, в строительстве чаще всего применяют светопрозрачные стеклопластики. У нас в стране в больших объемах выпускается светопрозрачный полиэфирный листовой стеклопластик.

3) **Полиэфирный стеклопластик** изготавливают на основе рубленого стекловолокна и прозрачных полиэфирных смол, благодаря которым полиэфирный стеклопластик является светопрозрачным. Выпускается он в изделиях в виде волнистых или плоских листов, часто имеющих различные окраски. Прочностные характеристики существенно ниже, чем у предыдущих материалов, и составляют 60-90 МПа при растяжении и сжатии.

Полиэфирные стеклопластики получили широкое применение в ограждающих конструкциях (стеновые и кровельные панели), лестничных ограждениях и балконных ограждениях, навесах т.п. конструкциях. Весьма перспективны стеклопластики для совмещенных пространственных конструкций.

Органическое стекло, винипласт и полиэтилен.

Эти пластмассы относятся к термопластам и поэтому имеют ограниченное применение в несущих строительных конструкциях. Недостатком их является невысокая теплостойкость. Прочность их в значительной степени зависит от температуры.

Органическое стекло целиком состоит из полимера полиметилметакрилата (без введения наполнителя). Оргстекло представляет собой бесцветную пластмассу, пропускающую до 90% видимых и более 73% ультрафиолетовых лучей света.

При температуре 20°C органическое стекло имеет сравнительно высокие прочностные характеристики (55 МПа при растяжении и 80 МПа при сжатии).

При температуре 105-170°C хорошо формируется в изделия криволинейной формы, легко поддается механической обработке.

Применяется для остекления криволинейных поверхностей, в виде зенитных фонарей, сводов, куполов и т.п. Этот материал весьма эффективен для покрытия теплиц, парников и оранжерей.

Винипласт выпускается пластифицированным и непластифицированным (жестким). По цвету могут быть темным (темно – коричневого цвета) или прозрачным (бесцветным). Одним из главных достоинств винипласта является его исключительная антикоррозионная стойкость в химически агрессивной среде. Он легко обрабатывается, практически водонепроницаем, легко сваривается и склеивается.

Недостаток- малая теплостойкость (всего до 60⁰ С и морозостойкость до -30⁰ С), большой коэффициент линейного расширения (в 7 раз больше, чем у стали) и малая ударная вязкость. По основным механическим свойствам винипласт близок к органическому стеклу.

Область применения в строительстве широка и разнообразна, поскольку этот материал является самым дешевым из термопластов. Винипласт используется для гидроизоляции, в качестве кровельного покрытия. Из него изготавливают трубы, профили, поручни и другие погонажные изделия.

Весьма перспективным материалом является армированный винипласт. В этом случае повышается прочность винипласта, и он может использоваться в несущих конструкциях (например, фермах).

Полиэтилен в чистом виде представляет собой твердый белый роговидный продукт. Сырьем для его производства служит бесцветный газ этилен.

Полиэтилен обладает хорошей морозостойкостью (ниже -70°C) и высокой химической стойкостью к действию кислот, щелочей и большинства растворителей. Недостаток его заключается в том, что он подвержен старению. При введении стабилизатора (сажи до 2%) атмосферостойкость его увеличивается примерно в 30 раз (такой полиэтилен называют стабилизированным). Из полиэтилена изготавливают трубы и арматуру к ним, профильные изделия, болты, листы и т. д.

Перспективным является применение липких лент из стабилизированного полиэтилена в качестве защитного покрытия (набинтовываемых) конструкций, находящихся в условиях химической агрессии.

Тепло – и – звукоизоляционные материалы.

Наибольшее распространение в строительстве получили газонаполненные пластмассы, а также сотопласты.

Газонаполненные пластмассы по своей структуре делятся на два вида:

-пенопласты – материалы с замкнутыми ячейками;

-поропласты – с взаимносообщающимися незамкнутыми ячейками.

Эта классификация условна, поскольку практически нельзя получить в чистом виде материал, отвечающий указанным условиям.

Ячейки, заполненные воздухом или газом, составляют более 90% объема материала. Поэтому отличительной особенностью пенопластов является небольшая плотность (от 10 до 200 кг\м³), низкая теплопроводность и достаточная для них прочность (0,2-1,1 МПа при сжатии).

Пенопласты, благодаря своей структуре имеют более высокие по сравнению с поропластами изоляционные качества.

Поропласты имеют большее влагопоглощение, но и обладают более высоким звукопоглощением.

Материал получают в виде блоков или форменных деталей. Газонаполненные пластмассы выпускают на основе как термопластичных, так и терморезистивных смол.

Различают жесткие, полужесткие и эластичные пенопласты. Первые два вида применяют в органических СК (в качестве среднего слоя в трехслойных панелях).

Сотопластами называют изделия с системами регулярных сот шестигранной формы, диаметром, примерно, 12-25 мм. Сотопласты изготавливают из хлопчатобумажной или изоляционной бумаги. Сотопласты применяют для изготовления легких трехслойных конструкций.

Древесные пластики.

Материалы, полученные на основе переработки натуральной древесины, соединенные синтетическими смолами называют древесными пластиками.

Древеснослоистые пластики (ДСП) изготавливают из тонких листов березового (иногда ольхового, липового или букового) шпона, пропитанного смолой и запрессованного при высоком давлении 150-180 кг\см² и температуре t=145-155°С.

В зависимости от взаимного расположения слоев шпона в пакете, различают 4 основных марки ДСП:

ДСП-А – все слои параллельны друг другу, **ДСП-Б** – через каждые 10-12 параллельных слоев один поперечный, **ДСП-В** – перекрестное расположение, причем наружные слои располагаются вдоль плиты, **ДСП-Г** – звездообразная, каждый слой смещен по отношению к предыдущему на 25-30°.

Для строительных конструкций рекомендуется ДСП-Б и ДСП-В, как наиболее прочные поперек волокон и под углами к волокнам.

Во всех случаях прочность ДСП превышает прочность цельной древесины, а для некоторых марок при действии усилий вдоль волокон шпона не уступает прочности стали.

В настоящее время в связи еще с высокой стоимостью ДСП, он применяется в основном для изготовления средств соединения элементов конструкций.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготавливают из хаотически расположенных волокон древесины (опилок), склеенных канифольной эмульсией. Сырьем для ДВП являются отходы лесопиления и деревообработки. Для изготовления твердых и сверхтвердых плит в древесноволокнистую массу добавляют фенолоформальдегидную смолу. При длительном действии влажной среды, древесноволокнистая плита весьма гигроскопична, набухает по толщине и теряет прочность, поэтому во влажных условиях применять ДВП не

рекомендуется. Прочность сверхтвердых плит ДВП плотностью не менее 950 кг/м^3 при растяжении составляет около 25 МПа.

Древесностружечные плиты (ПС и ПТ) получают путем горячего прессования древесных стружек, перемешанных, вернее опыленных фенолоформальдегидными смолами.

Древесностружечные плиты в зависимости от плотности подразделяют на:

- легкие $\gamma=350-500 \text{ кг/м}^3$
- средние ПС $\gamma=500-650 \text{ кг/м}^3$
- тяжелые ПТ $\gamma=650-800 \text{ кг/м}^3$

Прочность плит ПТ и ПС при растяжении составляет соответственно 3,6-2,9 МПа и 2,9-2,1 МПа. ПС и ПТ являются дешевым и доступным материалом, он широко используется в строительстве в качестве перегородок, подвесных потолков. Влагопоглощение плит колеблется в широких пределах, при этом они разбухают по толщине на 30-40%.

Тема 6. Несущие конструкции из пластмасс. Пневматические конструкции

Высокая прочность некоторых видов пластмасс при относительно низкой плотности, стойкость против атмосферных воздействий – это ценное свойство пластмасс как материала для несущих конструкций. Однако, серьезным препятствием к применению ПМ в несущих конструкциях, является их относительно большая деформативность.

Для предотвращения отрицательного влияния деформативности ПМ применяются в основном два приема:

-повышение жесткости конструктивных элементов путем более рационального, чем в массивных сечениях распределения материала;

-придание конструкциям таких форм, при которых исключаются или сводятся к минимуму напряжения от изгибающих моментов и нежелательные деформации.

Первому приему в наибольшей степени отвечают тонкостенные профили (трубчатые, коробчатые, волнистые), второму – пространственные конструкции одинарной или двойной кривизны (своды, купола, оболочки), а также конструкции из объемных блоков (пирамидальных, воронкообразных, саблевидных и др.).

Наиболее приемлемыми для несущих конструкций являются пластмассы на основе полиэфирных, эпоксидных и фенольных смол, с наполнением стекловолокном (полиэфирные стеклопластики применяются чаще остальных, так как они наиболее дешевые).

В менее ответственных частях конструкций применяется жесткий винипласт и оргстекло.

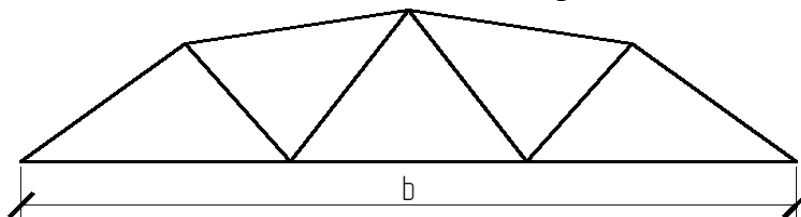
Каждому конструктивному материалу соответствуют свои эффективные формы. Можно выделить два основных вида пластмассовых несущих конструкций:

- 1) решетчатые конструкции из стеклопластиковых и винипластиковых труб;
- 2) конструкции из объемных элементов и пространственные конструкции.

Решетчатые конструкции.

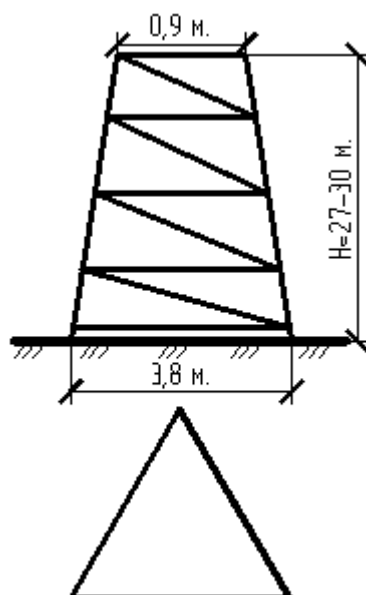
Эти конструкции так же, как и другие несущие конструкции из ПМ, пока еще проходят опытную проверку. Их прочность не вызывает сомнения, жесткость их достигается формой сечения их элементов – чаще всего трубчатой. Ограничение их применения связано с низкой степенью огнестойкости, хрупкостью и старением.

Исследования с целью улучшения их свойств продолжаются, проводятся работы по изучению ферм из винипластовых труб. Фермы имеют пролет 6 м и ломаное очертание верхнего пояса. Соединение элементов выполняется сваркой.



В специальных сооружениях нашли применение стеклопластиковые трубы для радиобашен высотой 27-30 м. (США – Колорадо, Флорида). Башня выполнена в виде секций, которые соединены между собой с помощью конических гильз на клею. Вес башни – 640 кг., в 5 раз легче аналогичной стальной башни, стоимость материала в 3 раза выше, значительна экономия на транспорте, монтаже и сооружении.

Для изготовления радиобашен используются трубы из стеклопластика диаметром $d=51,64,76,89$ мм., толщина стенки $\delta=3$ мм.

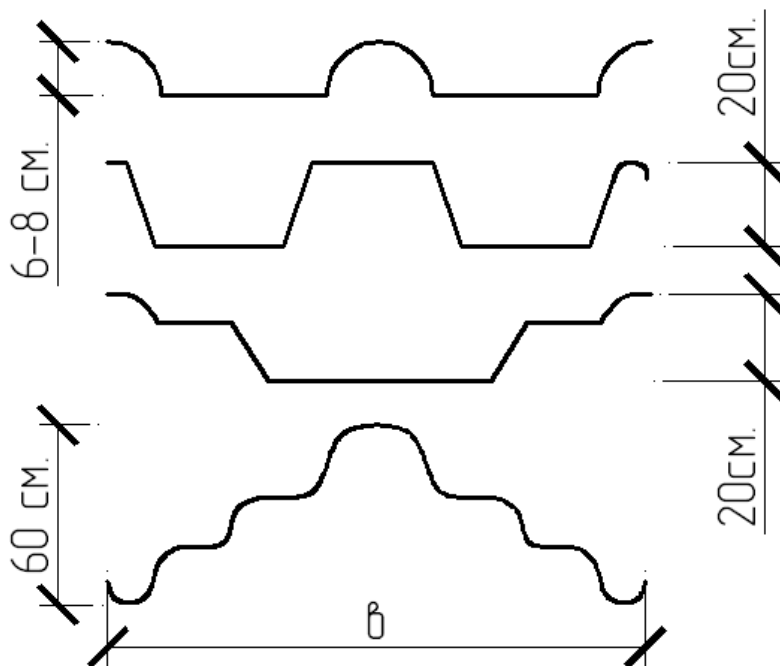


Конструкции из объемных элементов и пространственные конструкции из пластмасс.

Такие конструкции используют в качестве покрытия зданий и сооружений различного назначения.

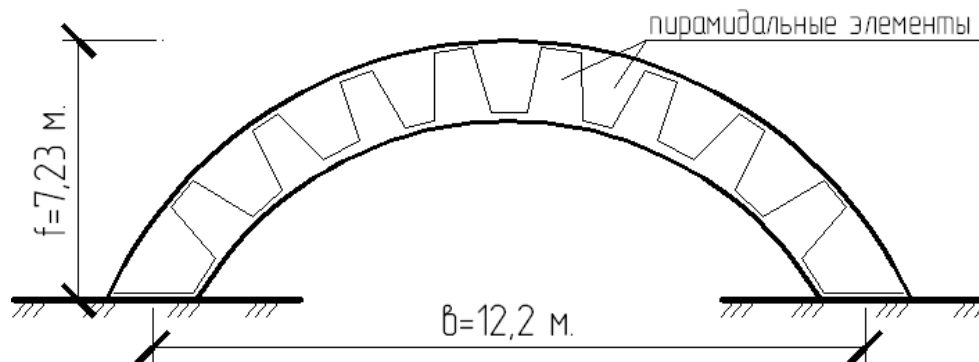
Получили распространение конструкции из лотковых, пирамидальных, воронкообразных элементов, а также пневматические конструкции.

Лотковые элементы опробированы в опыте строительства США, Франции, Словакии. Толщина лотковых элементов 3-6 мм., жесткость достигается гофрированием поперечников и гнутостью по длине. Лотковые элементы имеют длину $l=6,8-12,2$ м., а ширину $b=67-90$ см. Формы поперечных сечений крайне разнообразны.

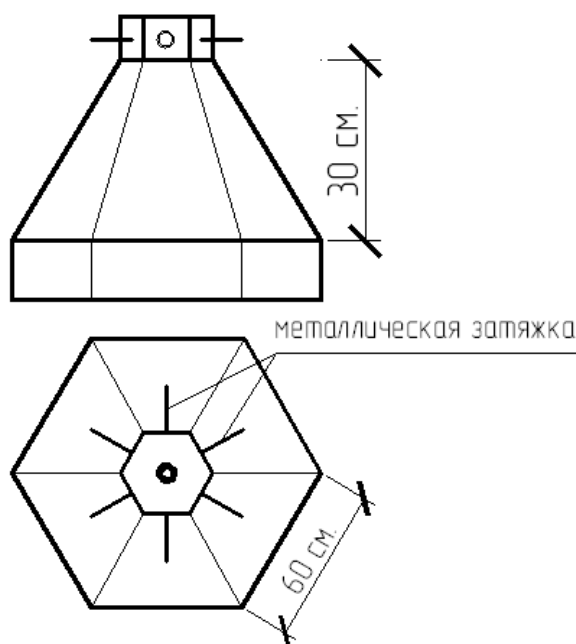


Соединяют лотковые элементы между собой болтами через 60 см. и шов заклеивается эластичной лентой.

Пирамидальные элементы для сводчатых и купольных покрытий выполняются из стеклопластика, могут быть холодными и полутеплыми, светопрозрачными и глухими.



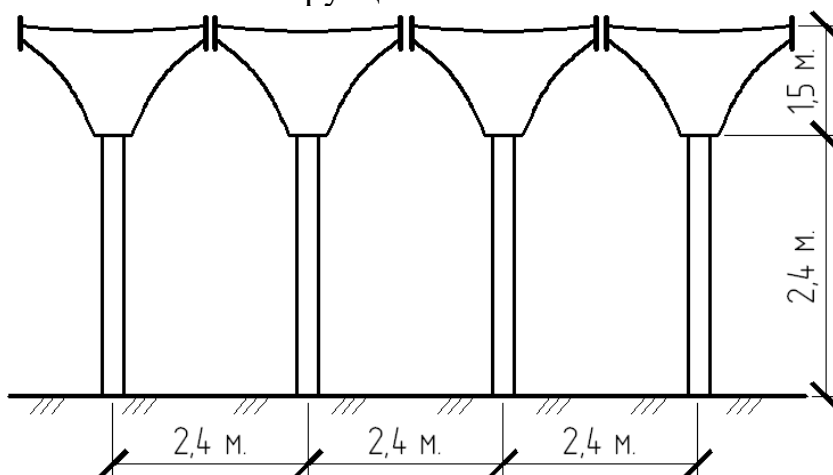
Пирамидальный элемент



По контуру основания пирамид крепятся болтами, швы заклеиваются клеящей лентой. Вершины пирамид скреплены металлическими затяжками. Они обеспечивают устойчивость сооружения.

При любой комбинации нагрузок (симметричной или несимметричной) в стенках пирамид возникают растягивающие усилия.

Воронкообразные элементы применяются в тех случаях, когда нужно обеспечить независимость отдельных частей конструкций.



Размеры воронки 2,4x2,4 м, высота – 1,5 м, $\delta=3-6$ мм; она опирается на стальную трубу $h=2,4$ м, $d=10-15$ см, служащую для отвода воды. Форма воронки –

гиперболический параболоид, по контуру идет фланец для сбалчивания с соседним элементом. Стыки фланцев вместе с болтами закрываются поливинилхлоридными профилями на клею.

Воронкообразные элементы применяют в садовых павильонах (Канада), в школьных зданиях (США), в покрытиях рынков (Франция). Самое крупное сооружение такого вида – выставочный павильон, построенный в Швейцарии, имеет размеры ячейки 18x18 м.

Пневматические конструкции.

Пневматические конструкции являются самыми распространенными пространственными конструкциями из пластмасс.

Пневматическими или надувными называют конструкции, несущая способность которых обеспечивается избыточным давлением воздуха или другого газа, заключенного в газонепроницаемую оболочку, выполненную из ткани или пленки.

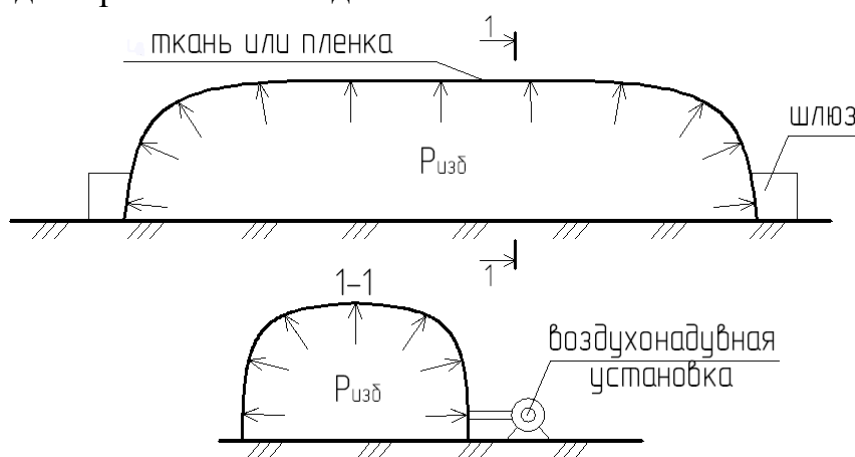
Пневматические конструкции отличаются простотой, легкостью и компактностью в сложенном виде, высокой сборностью и транспортабельностью. Их возведение весьма просто и не требует каких-либо трудоемких вспомогательных приспособлений. Они обладают сейсмостойкостью, а их основание можно возводить на скальных грунтах.

Пневматические конструкции подразделяются на:

- воздухоопорные (воздухонесущие);
- пневмокаркасные;
- комбинированные (вантовопневматические и линзообразные).

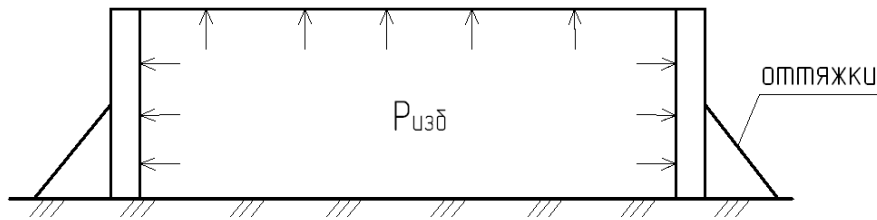
Воздухоопорные конструкции представляют собой закрытую пневмооболочку, под которой внутри помещения создается небольшое избыточное давление воздуха, играющее роль основного несущего элемента конструкции. Это давление устанавливается расчетом в пределах 0,02-0,002 атм. Такое давление обеспечивает необходимую устойчивость сооружения и практически не ощущается находящимися в помещении людьми.

Воздухоопорные ПК проектируются, как правило, в виде сферических куполов или цилиндрических сводов пролетом от 12 до 50 м. и более.



Свод со сферическими торцами

Торцы сводов в большинстве случаев выполняются так же из пленки или ткани со сферическим очертанием. Для сводов небольших пролетов торцовые части в некоторых случаях делают плоскими из жестких материалов (дерево, металл, пластмасса).

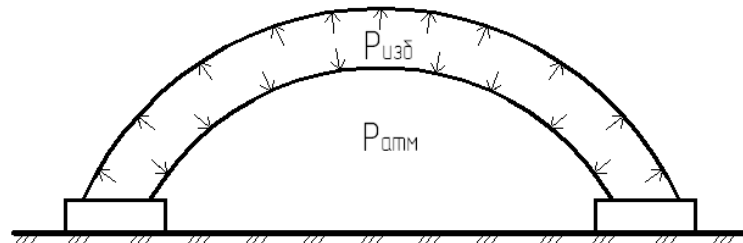


С целью обеспечения герметичности и минимальных потерь избыточного давления через входы необходимо устраивать шлюзы.

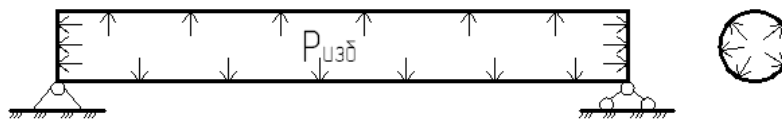
Избыточное давление внутри помещения создается компрессорами или вентиляторами. Если давление выше допустимого предела, воздух выпускают через предохранительные клапаны. Запуск вентилятора при утечке воздуха может производиться автоматически.

Пневмокаркасные конструкции состоят из ряда несущих надувных элементов. Пневмоэлементы представляют собой герметически закрытые баллоны, чаще всего трубчатой формы диаметром до 60-70 см.

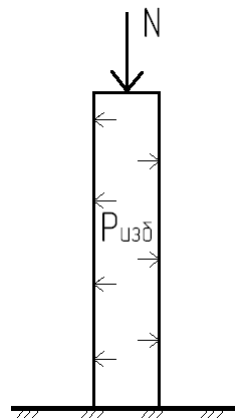
Пневмокаркасные конструкции применяются в виде пневмобалок, пневмостоек, пневмоарок, пневмокуполов и других конструкций.



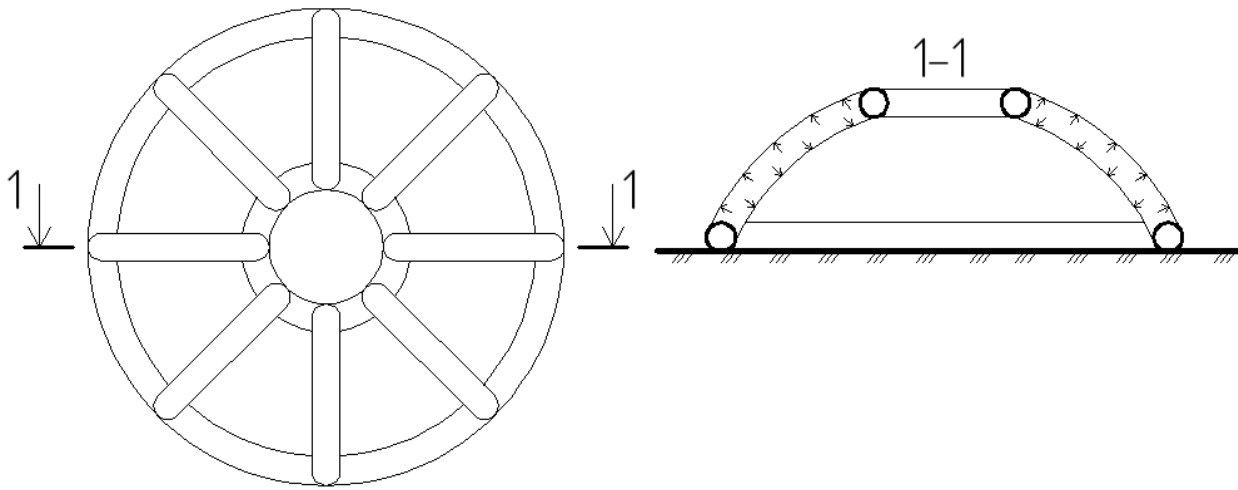
Пневмоарка ($P_{изб}=0,5-1,5$ атм)



Пневмобалка



Пневмостойка



Пневнокупол

Опоры пневмоарок шарнирные. Торцы пневмоэлементов надевают на стальной стакан и закрепляют нагелями или хомутами. Наиболее целесообразно для ПК использовать арки кругового очертания. Пролет пневмоарок следует принимать 12-16 м., шаг 2,5-3 м. Проектное положение ПК сохраняется благодаря избыточному давлению воздуха (0,5-1,5 атм.)

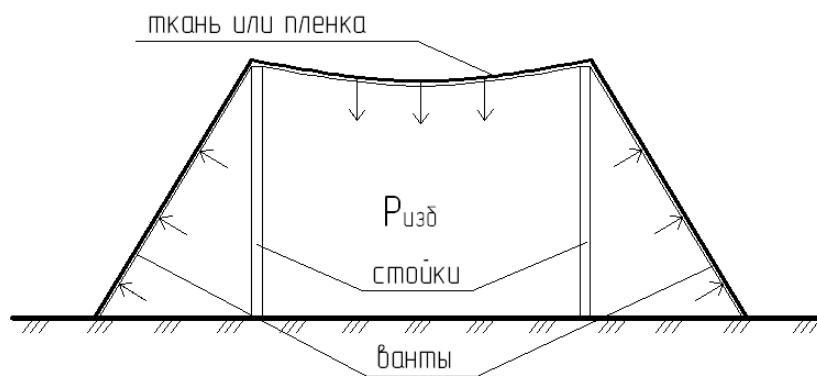
Внутри помещения с пневмокаркасными конструкциями в отличие от воздухоопорных, сохраняется нормальное давление воздуха. Однако, конструкции этого типа сложнее в изготовлении и требуют установки для нагнетания воздуха под значительно большим давлением. Для этой цели используют обычно компрессоры, а иногда баллоны со сжатым воздухом или газом.

Комбинированные конструкции состоят из сборного каркаса (алюминиевого, стального или деревянного) и воздухоопорной ограждающей оболочки.

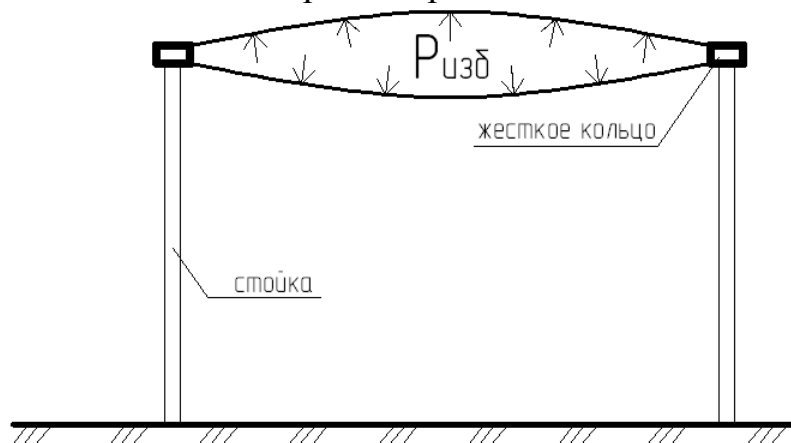


В обычных условиях внутри помещения поддерживается нормальное давление. Давление повышается при значительных ветровых или снеговых нагрузках. Эти конструкции отличаются повышенной стойкостью, однако их применение целесообразно при перекрытии больших пролетов.

Вантовопневматические конструкции представляют собой сочетание воздухоопорных оболочек с вантовыми системами из стальных или синтетических тросов.



Линзообразные пневматические конструкции состоят из замкнутых висячих оболочек, закрепленных на жестком опорном каркасе.



Пневмоконструкции применяются во временных сооружениях: зерноскладах, складах сыпучих материалов, как опалубка для монтажа постоянных (бетонных) конструкций; для капитальных сооружений – как покрытие цирков, стадионов, летних кинотеатров. Кроме того, ПК применяют для изготовления куполов и складов методом поверхностного нанесения стеклопластика или полиуретана, в результате чего образуется монолитная трехслойная конструкция.

Из всех видов ПК наибольшее применение получили воздухоопорные конструкции в виде цилиндрических или сферических оболочек.

Материалы, применяемые для ПК.

Для возведения пневматических конструкций используют тканевые материалы и пленки.

Основные требования к этим материалам:

- воздухонепроницаемость;
- влагонепроницаемость;
- эластичность;
- легкость в сочетании с высокой прочностью на разрыв и достаточной долговечностью при эксплуатации в различных климатических условиях.

Пленки, как правило, дешевле тканей, но они более деформируемы, менее прочны и недолговечны в эксплуатации. Поэтому пленки применяют для временных сооружений и теплиц.

В сооружениях, предназначенных для длительной эксплуатации необходимо применять тканевые материалы.

Ткани и пленки бывают одно- и многослойные, прозрачные и непрозрачные. При необходимости их можно утеплять эластичными синтетическими материалами.

Тканевые материалы состоят из основы и пропитки (или покрытия). В качестве основы применяют технический текстиль из природных (лен, хлопок) и синтетических (капрон, нейлон и другие) волокон. Для изготовления пропитки используют эластичные смеси на основе синтетических и каучуковых смол.

Пропитки служат для придания тканям воздухопроницаемости и для защиты их от атмосферных воздействий. Пропитки подвержены старению, то есть со временем они теряют эластичность, в них появляются трещины, изменяется цвет, а у светопроницаемых элементов снижается прозрачность. Пропитку наносят с одной или двух сторон ткани. Двухсторонняя пропитка повышает качество (долговечность) тканей.

Ткани – анизотропные материалы, поэтому при расчете тканевых оболочек необходимо учитывать различие в механических характеристиках – по основе (вдоль куска ткани) и по утку (поперек нитям).

Расчетное кратковременное сопротивление тканей по основе изменяется в пределах 28,8-64 кг\см, а по утку 18,2-35 кг\см, модуль упругости 90-114 кг\см (прочностные и упругие характеристики относятся к единице ширины вне зависимости от толщин).

Для ПК наиболее часто используются воздухопроницаемые ткани №29,34,42,60,80, представляющие собой одно-, двух- или трехслойную ткань, покрытую слоем резины. Основой для этих тканей является капроновый текстиль. Ткани выпускают в рулонах 0,9 м. Масса 1м² этих материалов колеблется от 0,45 до 1,8 кг., а толщина от 0,6 до 1,8 мм.

Синтетические пленки. Для ПК применяют чаще всего полиэтиленовые, полиамидные, полиэфирные пленки. Пленки могут быть прозрачными, полупрозрачными и непрозрачными, иметь различный цвет. Под воздействием солнечной радиации пленки «стареют», поэтому срок службы большинства из них – один-два года. Кроме того, пленки обладают повышенной деформативностью. Для повышения механических характеристик их армируют тканевыми сетками из капрона, стекловолокна и других материалов.

Для пневматических воздухоопорных СК небольших пролетов, используют армированные пленки марки ПС-40-П, НС-40С, а так же А, АС – синтетические пленки из полиамида, в которые впрессованы капроновые сетки.

Армированные пленки выпускают в рулонах шириной 0,85-0,9 м., толщина пленки от 0,45 до 0,71 мм., масса 1м² от 0,45 до 0,76 кг. Ткани и пленки по длине и ширине соединяют склеиванием или сваркой. При склеивании тканевых материалов рекомендуют швы усиливать нитяной строчкой.

Расчетное кратковременное сопротивление растяжению пленок колеблется от 7,5 до 31,2 кг\см ($R_o^V = 7,5 \div 31,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$) по основе, а по утку $R_y^K = 5,3 \div 19 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$, модуль упругости $E^K = 50 \div 84 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$.