

ЛЕКЦИЯ 6 Несущие конструкции из пластмасс. Пневматические конструкции. Основы расчета деревянных конструкций по предельным состояниям

Цель лекции: освоение студентами компетенций по изучению пневматических конструкций из пластмасс

Вопросы к лекции:

- 6.1.1 Основные сведения о несущих конструкциях, их классификация***
- 6.1.2 Решетчатые конструкции***
- 6.1.3 Конструкции из объемных элементов и пространственные конструкции из пластмасс***
- 6.2 Пневматические конструкции, их классификация***
- 6.3 Материалы, применяемые для ПК***
- 6.4 Материалы, применяемые для ПК***
- 6.5 Основы расчета по предельным состояниям***

Вопросы к экзамену

18 Основные сведения о несущих конструкциях, деформативности. Основные виды пластмассовых несущих конструкций

19 Пневматические конструкции. Классификация. Область применения. Материалы, применяемые для ПК

20 Основы расчета пневматических конструкций

21 Расчет конструкций из дерева и пластмасс по предельным состояниям. Нормативные и расчетные сопротивления древесины, фанеры, пластмасс и стали. Нагрузки, учитываемые при расчете конструкций из дерева и пластмасс.

6.1 Несущие конструкции из пластмасс

6.1.1 Основные сведения о несущих конструкциях, их классификация

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 применяют 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.

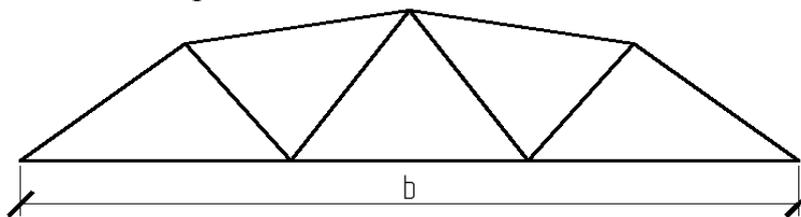
Каждому конструктивному материалу соответствуют свои эффективные формы. Можно выделить два основных вида пластмассовых несущих конструкций:

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

6.1.2 Решетчатые конструкции

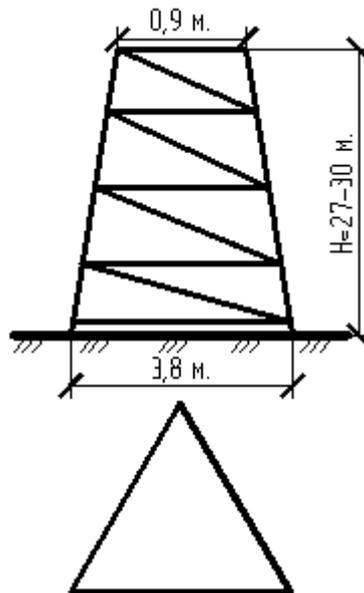
Эти конструкции так же, как и другие несущие конструкции из ПМ, пока еще проходят опытную проверку. Их прочность не вызывает сомнения, жесткость их достигается формой сечения их элементов – чаще всего трубчатой. Ограничение их применения связано с низкой степенью огнестойкости, хрупкостью и старением.

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.

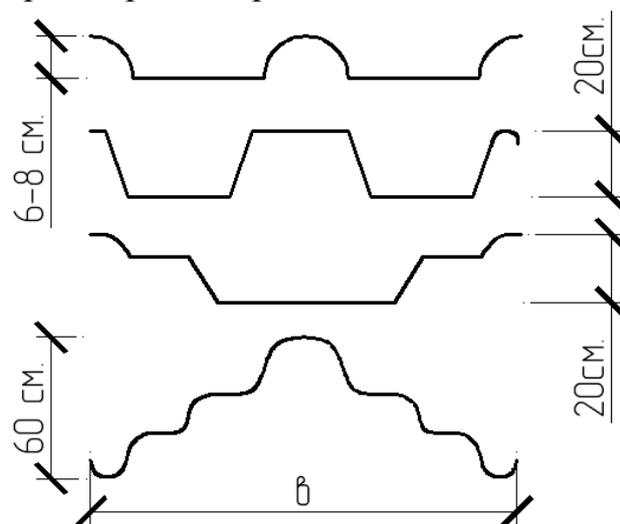


6.1.3 Конструкции из объемных элементов и пространственные конструкции из пластмасс

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

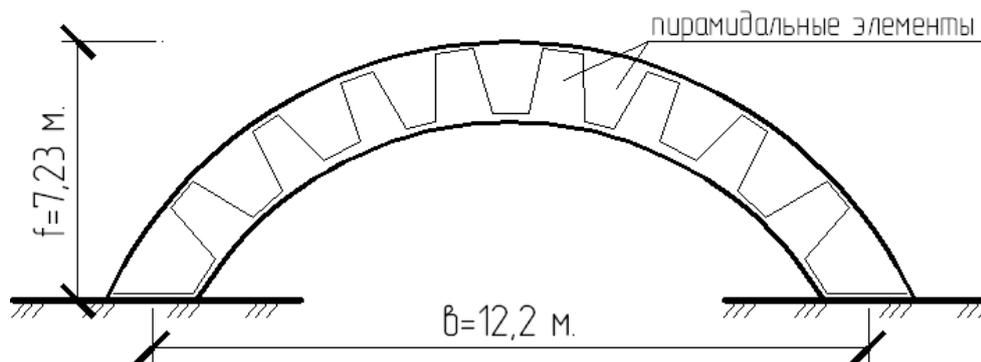
Получили распространение конструкции из лотковых, пирамидальных, воронкообразных элементов, а также пневматические конструкции.

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

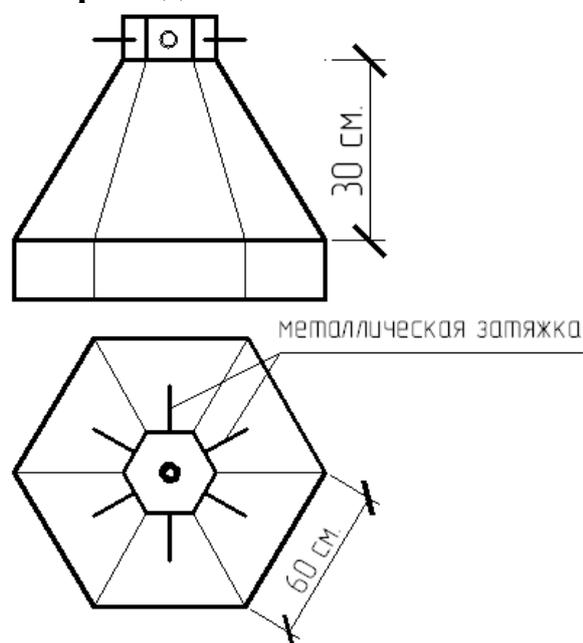


Соединяют лотковые элементы между собой болтами через 60 см. и шов заклеивается эластичной лентой.

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



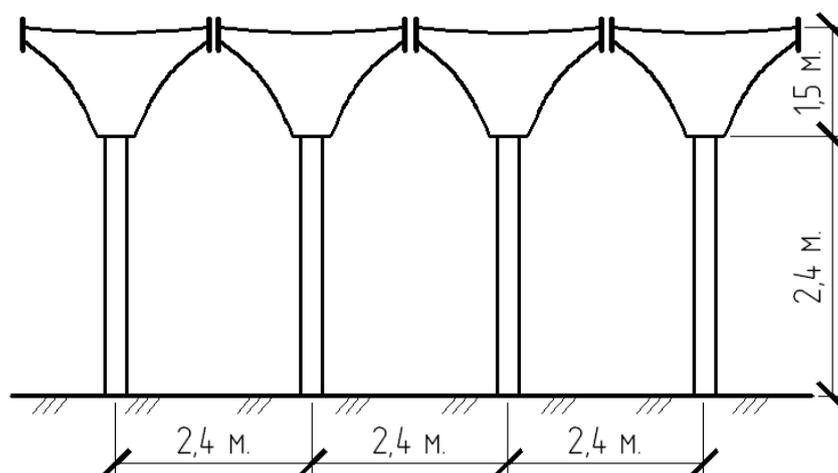
Пирамидальный элемент



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.

6.2 Пневматические конструкции, их классификация

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.

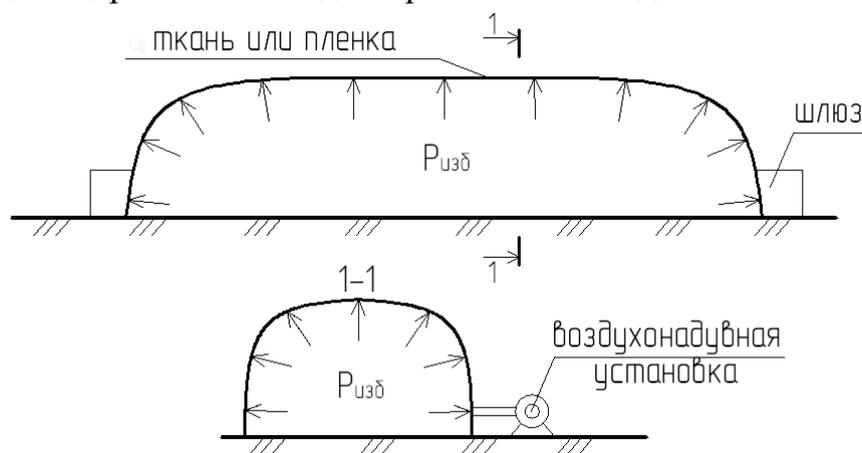
Пневматические конструкции отличаются простотой, легкостью и компактностью в сложенном виде, высокой сборностью и транспортабельностью. Их возведение весьма просто и не требует каких-либо трудоемких вспомогательных приспособлений. Они обладают сейсмостойкостью, а их основание можно возводить на скальных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

Пневматические конструкции подразделяются на:

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

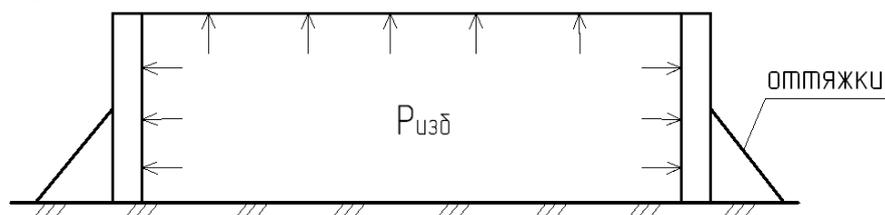
Воздухоопорные конструкции представляют собой закрытую пневмооболочку, под которой внутри помещения создается небольшое избыточное давление воздуха, играющее роль основного несущего элемента конструкции. Это давление устанавливается расчетом в пределах 0,02-0,002 атм. Такое давление обеспечивает необходимую 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).

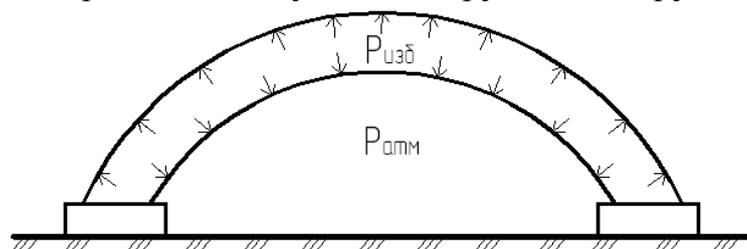


С целью обеспечения герметичности и минимальных потерь избыточного давления через входы необходимо устраивать шлюзы.

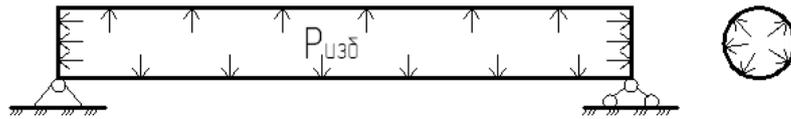
Избыточное давление внутри помещения создается компрессорами или вентиляторами. Если давление выше допустимого предела, воздух выпускают через предохранительные клапаны. Запуск вентилятора при утечке воздуха может производиться автоматически.

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

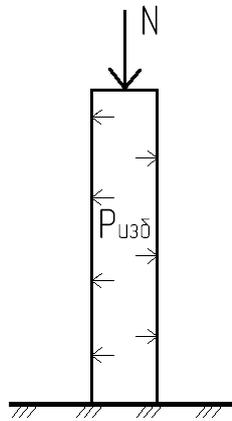
Пневмокаркасные конструкции применяются в виде пневмобалок, пневмостоек, пневмоарок, пневмокуполов и других конструкций.



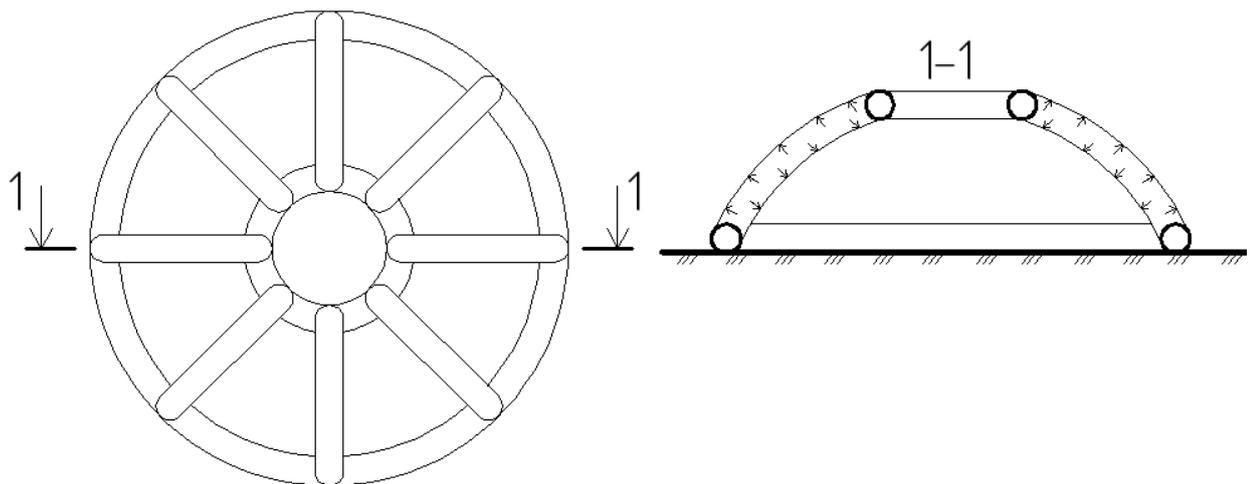
Пневмоарка ($P_{изб}=0,5-1,5$ атм)



Пневмобалка



Пневмостойка

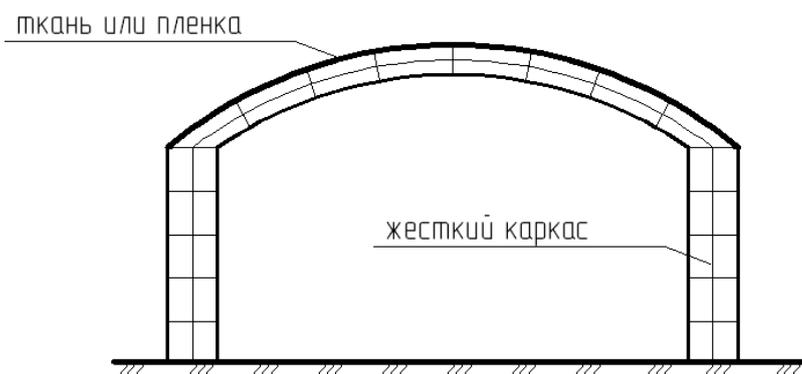


Пневокупол

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.)

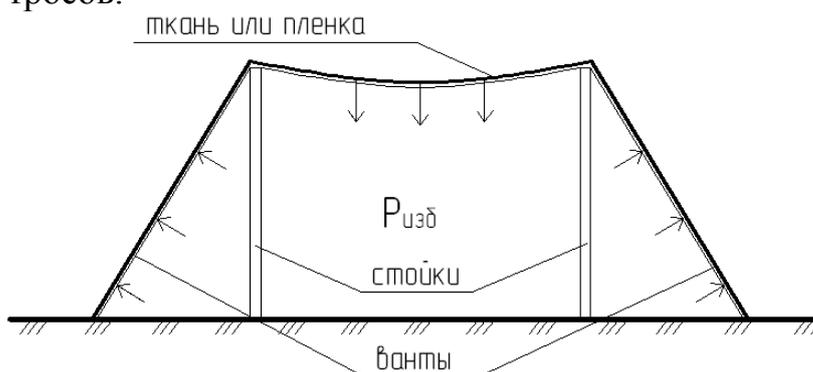
Внутри помещения с пневмокаркасными конструкциями в отличие от воздухоопорных, сохраняется нормальное давление воздуха. Однако, конструкции этого типа сложнее в изготовлении и требуют установки для нагнетания воздуха под значительно большим давлением. Для этой цели используют обычно компрессоры, а иногда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

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

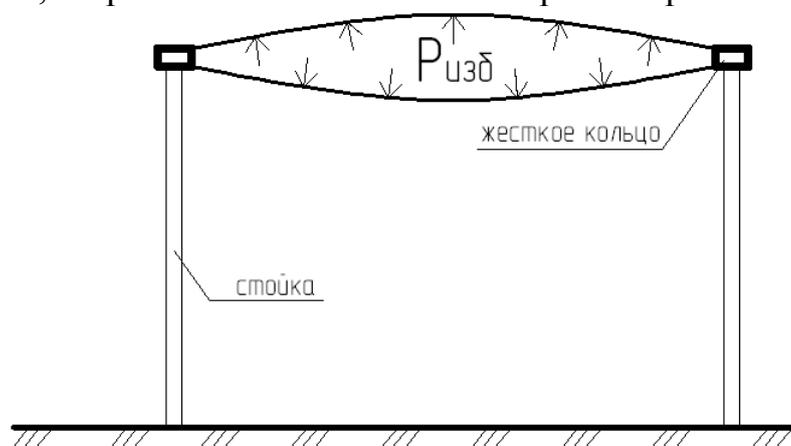


В обычных условиях внутри помещения поддерживается нормальное давление. Давление повышается при значительных ветровых или снеговых нагрузках. Эти конструкции отличаются повышенной стойкостью, однако их применение целесообразно при перекрытии больших пролетов.

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.

6.3 Материалы, применяемые для ПК

Для возведения пневматических конструкций используют тканевые материалы и пленки.

Основные требования к этим материалам:

- воздухо непроницаемость;
- 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 воздухо непроницаемости 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 воздухо непроницаемые 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 ($R_0^V = 7,5 \div 31,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$) по основе, а по утку $R_y^K = 5,3 \div 19 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$, модуль упругости $E^K = 50 \div 84 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$.

6.4 Материалы, применяемые для ПК

Пневматические конструкции относятся к классу предварительно напряженных СК. Форма и несущая способность их обеспечивается постоянно действующими растягивающими напряжениями в оболочках, возникающими в результате создаваемого внутри давления воздуха.

Избыточное давление определяется из условия

$$P_{\text{изб}} \leq \Sigma P,$$

где ΣP – сумма сил в наиболее невыгодной комбинации (снег, ветер, собственный вес).

Методы расчета воздухоопорных и пневмокаркасных конструкций основываются на безмоментной теории оболочек, поскольку тонкие и гибкие ткани не могут сопротивляться изгибающим и сжимающим усилиям.

Пневматические конструкции рассчитываются по двум предельным состояниям:

- 1) по несущей способности (прочность, устойчивость);
- 2) по деформациям (прогибам, складкообразованию и сохранению положительной кривизны).

Расчет по прочности производится для всех типов ПК и заключается в определении максимальных растягивающих напряжений в тканях или пленках при наиболее неблагоприятных сочетаниях расчетных нагрузок.

Расчет тканей ведется в двух направлениях – по основе (с расчетными сопротивлениями R_0) и по утку (с расчетными сопротивлениями R_y), $R_0 \gg R_y$.

При расчете на прочность должно выполняться условие:

$$\sigma_{0(y)} \leq R_{0(y)}$$

Расчет на устойчивость необходим при проектировании элементов ПК, которые могут потерять несущую способность раньше разрыва оболочек.

Расчет по прогибам производится из условия

$$f \leq [f]$$

и заключается в определении максимального прогиба от нормативных нагрузок, который должен быть меньше предельного.

Допустимые прогибы ПК пока не нормированы и применяются по условиям эксплуатации.

Учитывая, что деформация ПК не является признаком их разрушения, значения могут быть приняты значительно большими, чем в обычных конструкциях, лишь бы деформации не мешали нормальной эксплуатации перекрываемого помещения.

Нужно отметить, что в настоящее время вопрос о разработке достоверных методов расчета ПК до конца еще не решен. Работы в этом направлении выполняются отечественными и зарубежными учеными.

6.5 ОСНОВЫ РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

6.5.1 Группы предельных состояний

Предельными являются такие состояния конструкций, при которых они перестают удовлетворять требованиям эксплуатации.

Внешней причиной, которая приводит к предельному состоянию, является силовое воздействие - внешние нагрузки, реактивные силы. Предельные состояния могут наступать под влиянием условий работы деревянных конструкций, а также качества, размеров и свойств материалов.

В соответствии с [1] деревянные конструкции должны удовлетворять требованиям расчета по несущей способности - первая группа предельных состояний и по деформациям, не препятствующим нормальной эксплуатации - вторая группа предельных состояний, с учетом характера и длительности действия нагрузок.

Первая группа предельных состояний характеризуется потерей несущей способности и полной непригодностью к дальнейшей эксплуатации.

В деревянных конструкциях могут возникать следующие предельные состояния первой группы: разрушение, потеря устойчивости, опрокидывание, недопустимая ползучесть.

Эти предельные состояния не наступают, если выполняются условия:

$$\begin{aligned}\sigma &\leq R, \\ \tau &\leq R_{ск} (R_{ср}),\end{aligned}\tag{8.1}$$

т.е. когда нормальные напряжения, σ , и касательные напряжения, τ , не превышают некоторой предельной величины, R , называемой расчетным сопротивлением.

Вторая группа предельных состояний характеризуется признаками, при которых эксплуатация конструкций или сооружений хотя и затруднена, однако, полностью не исключается, т.е. конструкция становится непригодной только к *нормальной* эксплуатации, которая определяется по прогибам:

$$\begin{aligned}f &\leq [f], \\ f/l &\leq [f/l].\end{aligned}\tag{8.2}$$

Это означает, что изгибаемые элементы или конструкции пригодны к нормальной эксплуатации, если наибольшая величина отношения прогиба к пролету меньше предельно допустимого относительного прогиба $[f/l]$ [1].

Цель расчета конструкций – не допустить наступления ни одного из возможных предельных состояний, как при транспортировке и монтаже, так и при эксплуатации конструкций.

6.5.2 Расчет по предельным состояниям, нормативное и расчетное сопротивления древесины

Расчет по первому производится по расчетным значениям нагрузок, а по второму предельному состоянию – по нормативным.

Основной характеристикой материалов, по которой оценивается способность сопротивляться силовым воздействиям, является **нормативное сопротивление R^n** - минимальный вероятностный предел прочности чистой древесины, получаемым при статической обработке результатов испытаний стандартных образцов малого размера на кратковременную нагрузку.

Нормативное сопротивление древесины вычисляется по результатам многочисленных испытаний малых образцов чистой (без включения пороков) древесины одной породы, влажностью 12%.

При переходе от нормативного сопротивления, R^n , к расчетному, R , необходимо учесть влияние на прочность древесины длительного действия нагрузки, пороков (сучков, косослоя и пр.), перехода от малых стандартных образцов к элементам строительных размеров. Нормативные значения внешних нагрузок приведены в [1].

Расчетное сопротивление, R – это максимальное напряжение, которое может выдержать материал в конструкции, не разрушаясь, при

учете всех неблагоприятных факторов в условиях эксплуатации, снижающих его прочность.

Расчетные значения получают с учетом коэффициента безопасности по нагрузке, γ_n . Конструкции рассчитывают на неблагоприятное сочетание нагрузок (собственный вес, снег, ветер) вероятность которых учитывается коэффициентами сочетаний. Совместное влияние всех этих факторов учитывается **коэффициентом безопасности по материалу, k** .

Расчетное сопротивление получают делением нормативного сопротивления, R^H , на коэффициент безопасности по материалу:

$$R = R^H/k. \quad (8.3)$$

Коэффициент безопасности по материалу определяют по формуле:

$$k = \frac{1}{K_{дл} \cdot K_{одн}}, \quad (8.4)$$

где $k_{дл} = 0,67$ – коэффициент длительности при совместном действии постоянных и временных нагрузок;

$k_{одн} = 0,27 \div 0,67$ – коэффициент однородности, зависящий от вида напряженного состояния, учитывающий влияние пороков на прочность древесины.

Минимальное значение, $k_{одн}$, принимается при растяжении, когда влияние пороков особенно велико.

Расчетные сопротивления древесины сосны, ели и лиственницы влажностью 12 % для основного сочетания нагрузок (режим В, согласно таблице В.1 [1]) в сооружениях нормального уровня ответственности при сроке эксплуатации до 50 лет приведены в таблице 3 [1].

Расчетные сопротивления для других пород древесины устанавливают путем умножения величин, приведенных в таблице 3, на переходные коэффициенты, m_n , указанные в таблице 5 [1];

Расчетные сопротивления, приведенные в таблицах 3, 4 и 6, в соответствующих случаях следует умножать на коэффициенты условий работы:

а) для различных условий эксплуатации конструкций — на коэффициент m_v , (таблица 7 [1]);

б) для конструкций:

- эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха до +35 °С, — на коэффициент $m_T = 1,0$;

- при температуре +50 °С — на коэффициент $m_T = 0,8$,

- для промежуточных значений температуры коэффициент принимается по интерполяции;

в) для конструкций, в которых напряжения в элементах, возникающие от постоянных и временных длительных нагрузок, превышают 80 % суммарного напряжения от всех нагрузок — на коэффициент $m_d = 0,8$;

г) для конструкций, рассчитываемых с учетом воздействия кратковременных (ветровой, монтажной или гололедной) нагрузок, а также

нагрузок от обрыва проводов воздушных ЛЭП и сейсмической, — на коэффициент m_n (таблица 8 [1]);

д) для изгибаемых, внецентренно-сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов прямоугольного сечения высотой более 50 см значения расчетных сопротивлений изгибу и сжатию вдоль волокон — на балочный коэффициент для высоких балок, $m_b \leq 1$ (таблица 9 [1]);

е) для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении и изгибаемых элементов из круглых лесоматериалов с подрезкой в расчетном сечении — на коэффициент $m_o = 0,8$;

ж) для элементов, подвергнутых глубокой пропитке антипиренами под давлением — на коэффициент антисептирования, $m_a = 0,9$;

и) для изгибаемых, внецентренно-сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов, в зависимости от толщины слоев, значения расчетных сопротивлений изгибу, скалыванию и сжатию вдоль волокон — на коэффициент $m_{cl} = 0,95 \div 1,1$ (таблица 10 [1]);

к) для гнутых элементов конструкций значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу — на коэффициент гнутья для гнутоклееных элементов, $m_{gn} \leq 1$ (таблица 11 [1]).

Модуль упругости древесины при расчете по предельным состояниям второй группы следует принимать равным: вдоль волокон $E=10\ 000$ МПа; поперек волокон $E_{90} = 400$ МПа. Модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон, следует принимать равным $G_{90} = 500$ МПа.

Коэффициент Пуассона, ν , древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, следует принимать равным - 0,45, а вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон, равным - 0,018.

Расчетные характеристики строительной фанеры приведены в [1], причем, при проверке напряжений в элементах из фанеры, как и для древесины, вводят коэффициенты условия работы m . Для расчетного сопротивления древесины и фанеры вводится коэффициент $m_{dl} = 0,8$ в случае, если суммарное расчетное усилие от постоянных и временных нагрузок превышает 80% полного расчетного усилия.