

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЯХ, СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ  
МЕТОДОВ ИХ РАСЧЕТА. НОРМАТИВНАЯ БАЗА  
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ. ЛЕКЦИЯ 1**

Савин Сергей Юрьевич  
Доцент кафедры ЖБК, к.т.н.





## ПЛАН ЛЕКЦИОННОГО ЗАНЯТИЯ:

1. Основные термины и определения
2. Классификации строительных конструкций
3. Несущие конструкции

# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



**Строительная конструкция** - часть здания или сооружения, выполняющая определенные **несущие**, **ограждающие** и (или) **эстетические функции**.

(ФЗ №384 от 30.12.2009 Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 02.07.2013)).

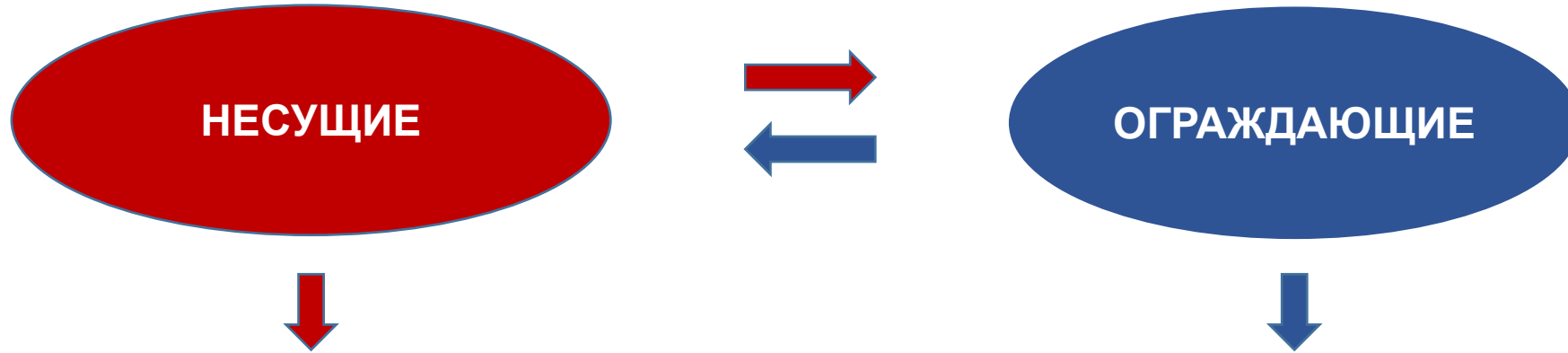


**Здание** – результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных.



**Сооружение** - результат строительства, представляющий собой объемную, плоскостную или линейную строительную систему, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей,

# КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ:



**Несущие конструкции** - конструктивные элементы, предназначенные для восприятия всех нагрузок и воздействий на здания и сооружения и обеспечивающие их прочность, жёсткость и устойчивость.

**Ограждающие конструкции** - конструктивные элементы, ограничивающие объём здания и разделяющие его на отдельные помещения; служат для создания комфортных условий проживания и работы. Ограждающие конструкции не участвуют в работе конструктивной системы соору

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ



# ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ

Стойечно-балочная стержневая система состоит из вертикальных и горизонтальных стержневых несущих элементов. Вертикальный элемент называют стойкой или колонной, которая представляет собой прямолинейный стержень, воспринимающий все вертикальные нагрузки от горизонтального элемента, который называют балкой или ригелем. В результате все усилия передаются на фундамент.

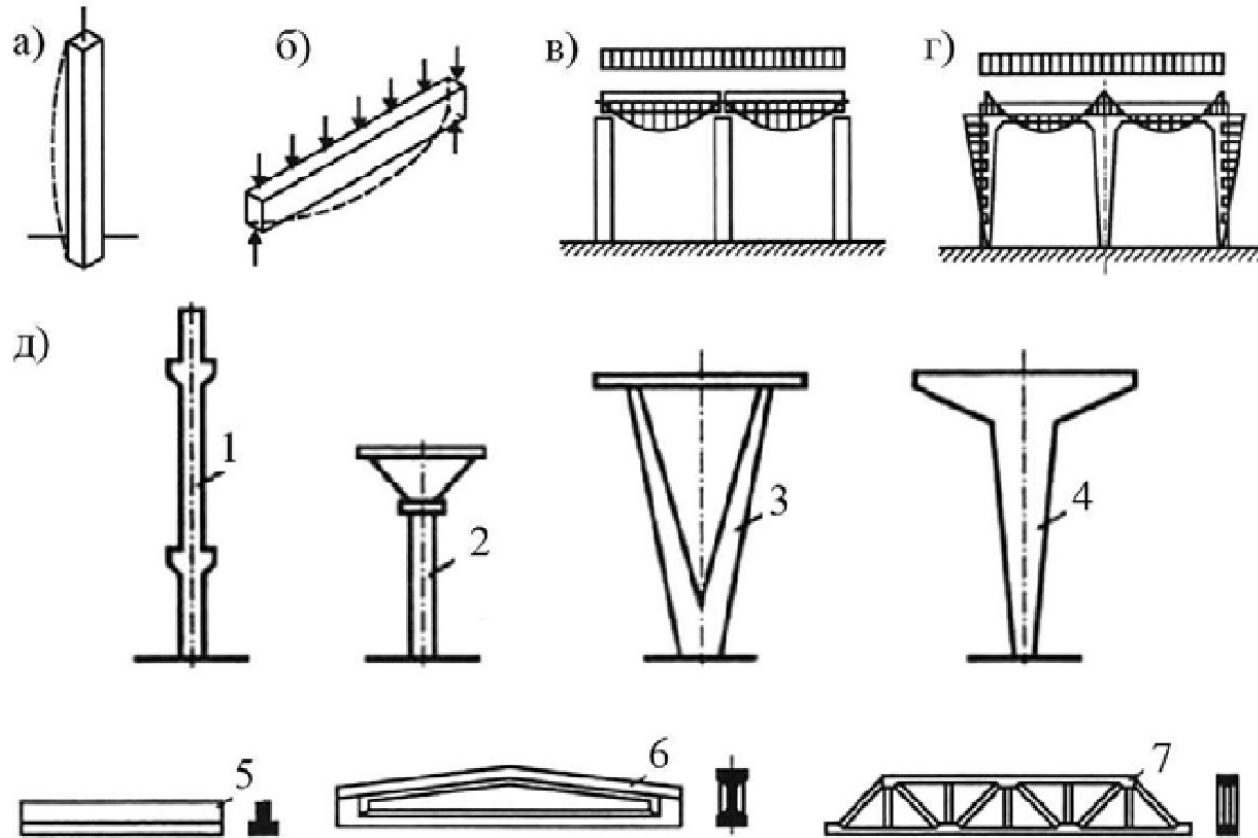
Стойки работают на центральное или внецентренное сжатие, балки – на поперечный изгиб от вертикальной нагрузки. Стойки имеют, как правило, квадратное, прямоугольное или круглое сечение, постоянное по длине, но бывают и V- или

T-образного вида, например в мостовых конструкциях опор.

Балки при небольших пролетах имеют сплошное сечение в виде тавра, двутавра, швеллера или прямоугольное. При больших пролетах – сквозное сечение в виде ферм или двускатных балок с изменяющимся по длине сечением.

Сопряжения вертикальных и горизонтальных элементов могут быть различными, что значительно влияет на их совместную работу. При шарнирном сопряжении с одной шарнирно-подвижной опорой балки обладают свободой горизонтальных перемещений и поворота на опорах, в связи, с чем они передают на стойки только вертикальные усилия, и стойки работают на сжатие. При жестком сопряжении элементов обеспечивается совместность деформаций и перемещений элементов, поэтому вертикальные усилия с балок передаются на колонны вместе с изгибающим моментом в узле, и поэтому колонны уже работают на сжатие с изгибом. Такой вариант стойечно-балочной системы носит название **РАМЫ** или рамной конструкции, а жесткий узел сопряжения – рамного узла.

# СТОЕЧНО-БАЛОЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



**а) стойка (колонна/пилон), б) балка, в) стоечно-балочная конструкция с шарнирным сопряжением элементов, г) то же с жестким сопряжением элементов, д) сборные железобетонные элементы стоечно-балочной системы:**

1 – двухэтажная колонна; 2 – колонна с капителью; 3, 4 – V и T – образные опоры эстакад; 5 – ригель таврового поперечного сечения; 6 – двухскатная балка покрытия; 7 – раскосная ферма



# СТОЕЧНО-БАЛОЧНЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Стойечно-балочные конструкции выполняют с различным числом пролетов и ярусов (этажей). При их большом количестве такую конструкцию называются каркасом.

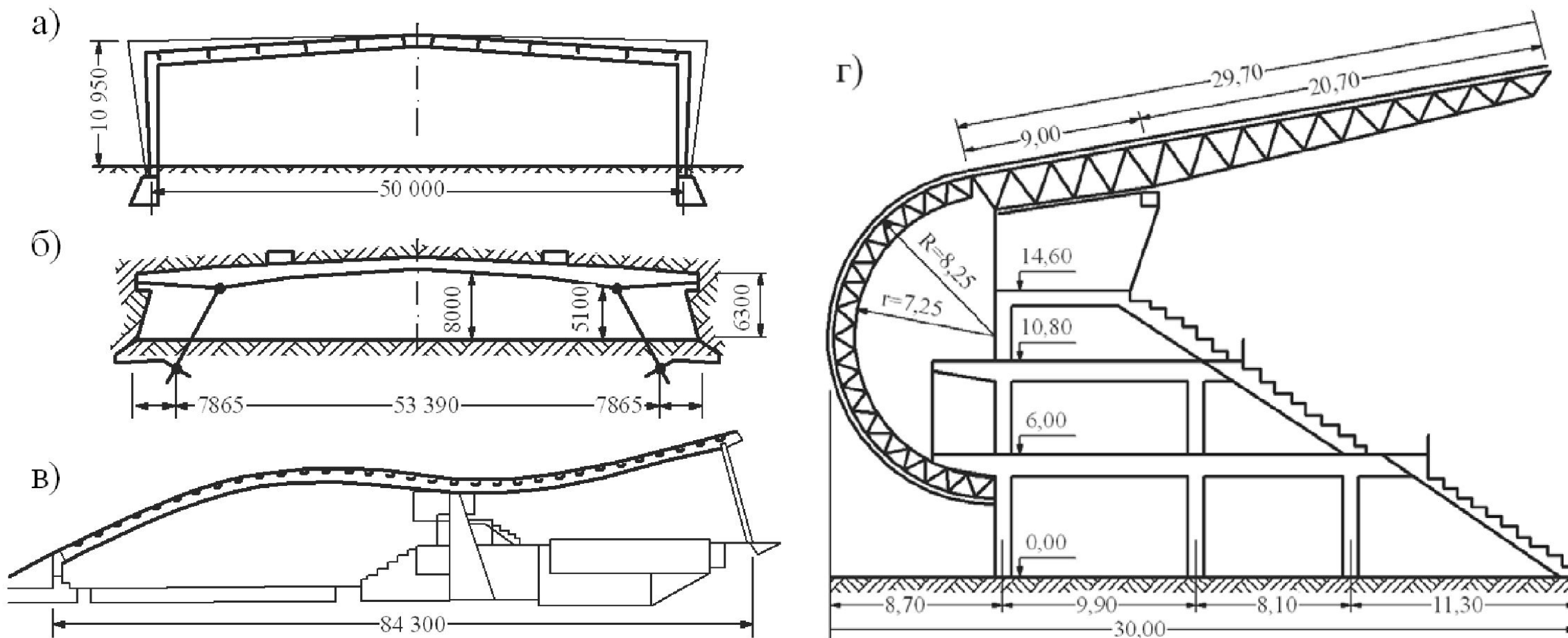
**КАРКАС**, состоящий из продольных и поперечных рам (рамный каркас), обладает наибольшей пространственной жесткостью. Каркас с шарнирными сопряжениями (связевый каркас) пространственной жесткостью не обладает. Для ее обеспечения вводятся специальные конструкции вертикальных связей, в качестве которых могут быть использованы отдельные стены (диафрагмы жесткости), рамы, раскосы и др.

Конструкции каркаса могут изготавливать как из одного материала, так и из нескольких. Железобетонные рамы больших пролетов применяют редко ввиду их массивности и высокой стоимости. Применение деревянных клееных рам дает значительное уменьшение материалоемкости конструкций при простоте изготовления. Металлические рамы сплошного сечения целесообразны только при сравнительно небольших пролетах

(до 24 м), при больших пролетах (до 150 м) применяют решетчатые рамы.

Рамные конструкции могут иметь разнообразные формы с прямыми, ломанными и криволинейными очертаниями, что позволяет придать определенную архитектурную выразительность зданию. Они допускают устройство крупных нависающих консолей, например, на железнодорожных перронах, посадочных площадках аэровокзалов, над трибунами стадионов, входами в крупные общественные здания и т.п.





**а) выставочный павильон в Гамбурге (ФРГ);  
 б) подземный выставочный зал в Турине (Италия);  
 в) здание бассейна в Реймсе (Франция), г) трибуны стадиона**

# ПРИМЕРЫ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ



**Стойчно-балочная система из легких металлических конструкций**

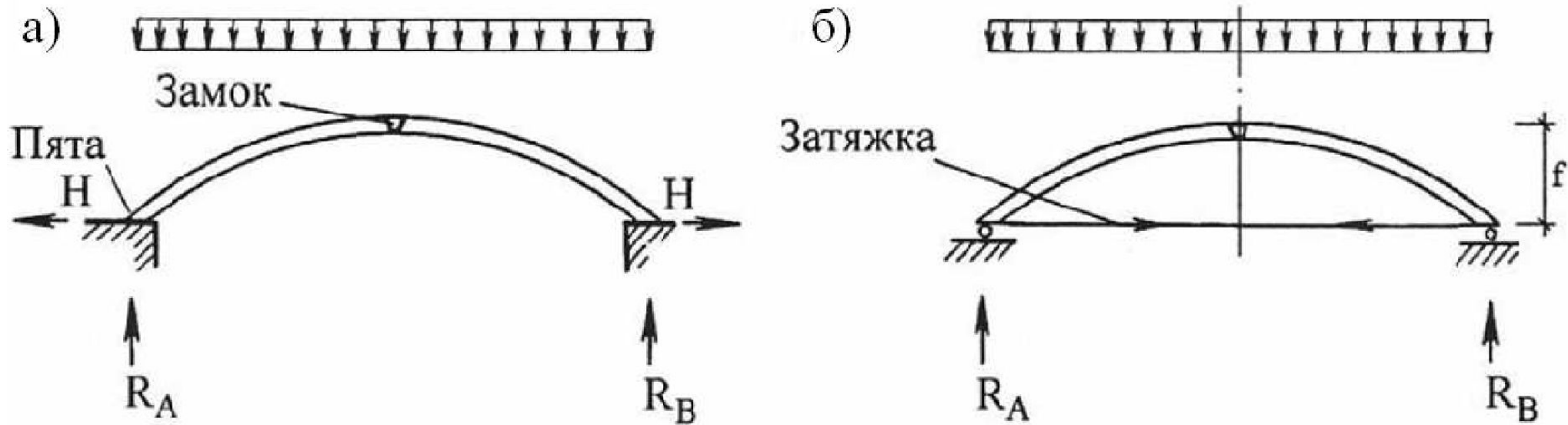


**Сборно-монолитный железобетонный каркас (стойчно-балочная система)**



**Деревянный каркасный дом (стойчно-балочная система)**

## АРОЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



**а) простая арка, б) арка с затяжкой;**

$R_A$  и  $R_B$  – вертикальные реакции опор;  $H$  – распор;  $f$  – стрела подъема (высота) арки

Арка представляет собой распорную конструкцию в виде криволинейного бруса, обычно в форме окружности или параболы. Арка под действием вертикальной нагрузки преимущественно работает на сжатие, и вызывает кроме вертикальных реакций еще и горизонтальную которую называют распором. Для восприятия распора необходимо устраивать прочные опоры или предусматривать затяжку – связь, стягивающую пяты арки и работающую на растяжение. В последнем случае в опорах арки возникают только вертикальные реакции.



## ПРИМЕРЫ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



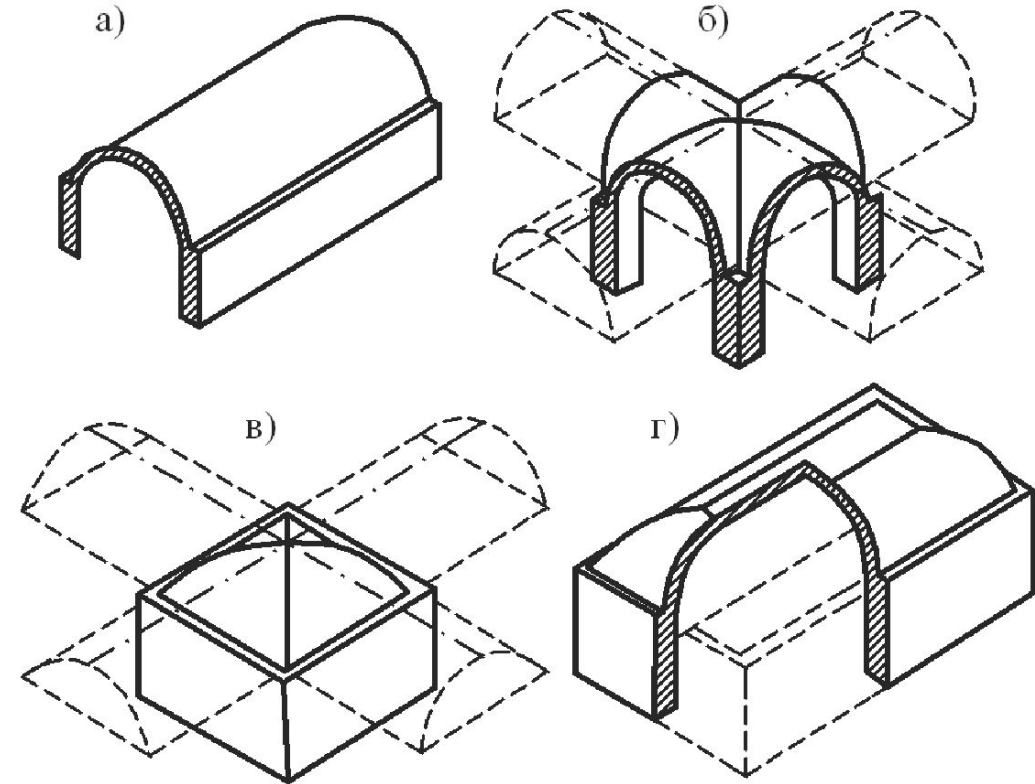
**Установка арки Крымского моста**



**Клеедеревянные арки покрытия  
спортивного сооружения**

Если профиль арки принять за направляющие и вытянуть ее в направлении перпендикулярном пролету, то получится конструкция пространственной формы, называемая цилиндрическим сводом. Работу цилиндрического свода под действием равномерной распределенной по всей поверхности вертикальной нагрузки в теории упругости относят к виду напряженного состояния называемого плоской деформацией. Это значит, что если конструкции свода мысленно рассечь на ряд параллельных друг другу арок, то все они будут работать в своей плоскости, иметь идентичное напряженное состояние и не окажут существенного воздействия на смежные арки.

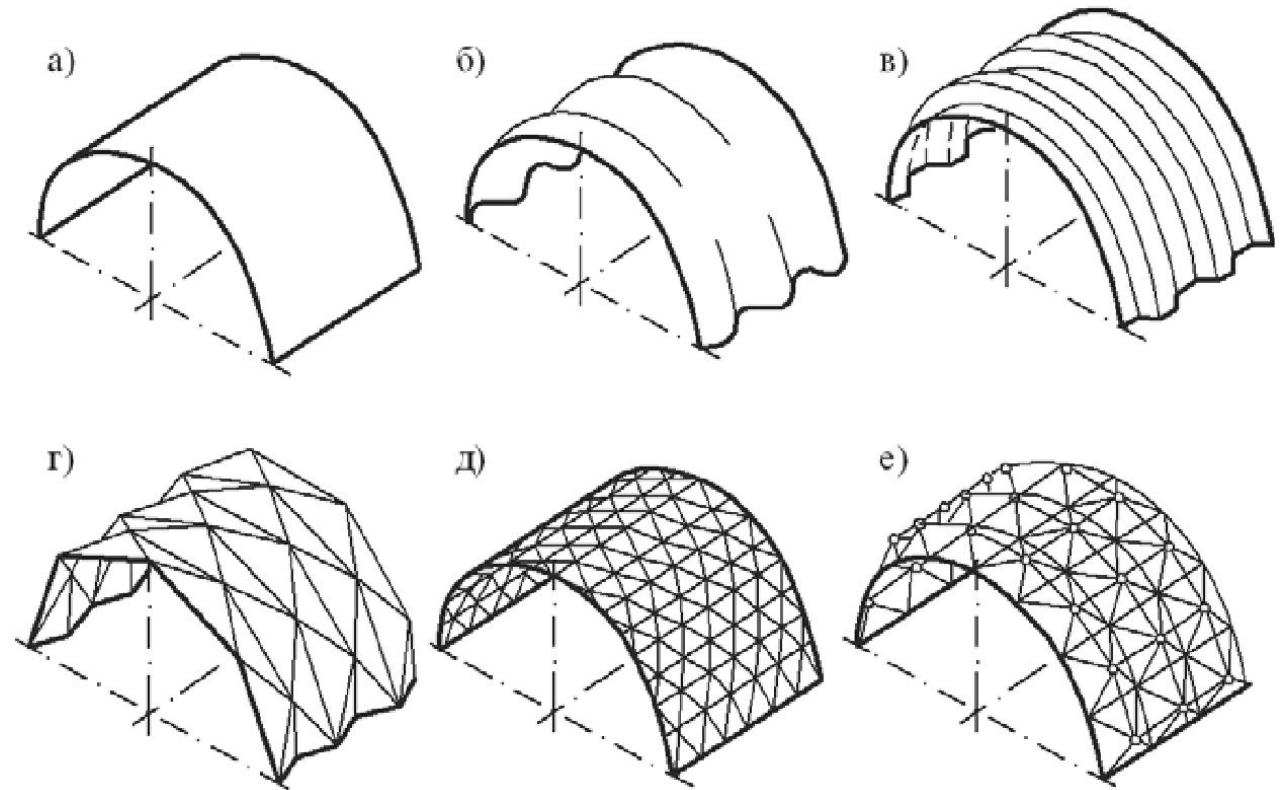
В архитектуре цилиндрический свод имеет много модификаций. Если пересечь два цилиндрических свода с одинаковой стрелой подъема то получится крестовый свод, состоящий из четырех фрагментов цилиндрической поверхности (распалубок) и опирающийся на четыре опоры. Если скомпоновать конструкцию из четырех других фрагментов пересекающихся сводов (лотков) то получится сомкнутый свод, опирающийся по контуру. Если срезать вершину сомкнутого свода горизонтальной плоскостью то



**а - цилиндрический, б – крестовый,  
в – сомкнутый, г – зеркальный**

Все перечисленные модификации в отличие от цилиндрического свода являются пространственными конструкциями не только по геометрической форме, но и по характеру работы под нагрузкой.

Сводчатые конструкции выполняются преимущественно из железобетона. Приведенная толщина стенок составляет приблизительно  $1/500$  пролета, высота от  $1/2$  до  $1/10$  пролета. Железобетонные своды больших пролетов выполняют сборными из прямоугольных или криволинейных элементов шириной  $1,5...3$  м, длиной до  $6$  м, и, как правило, подкрепляют ребрами жесткости. При пролетах до  $24$  м своды собирают из двух половин. Сетчатые и структурные своды выполняют из дерева и металла.



**а) гладкий; б) волнистый; в) складчатый;  
г) двойко-складчатый; ж) сетчатый; е)  
структурный**





**Нервюрный свод Шартрского собора, Франция**



**Дебаркадер Киевского вокзала в Москве**

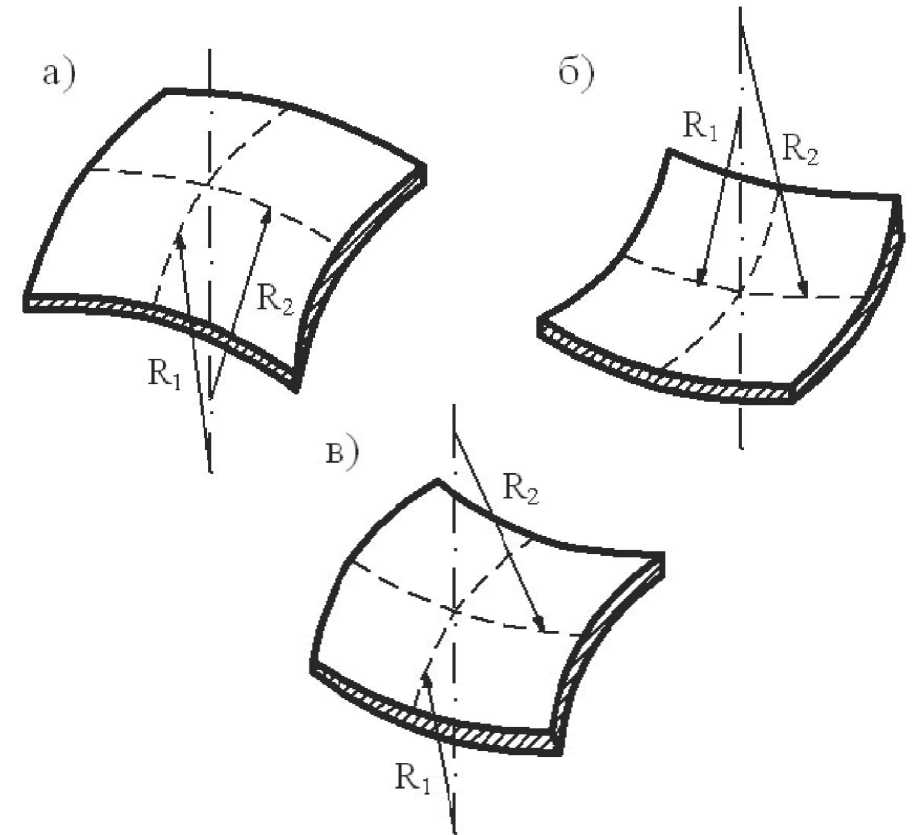


**Свод строящейся станции метрополитена в Москве**



Оболочки представляют собой тонкостенные жесткие конструкции с криволинейной поверхностью, работающие на осевые усилия (сжатие). Геометрические и статические свойства оболочек зависят от их кривизны. В общем случае оболочки имеют кривизну в двух направлениях, такие оболочки называют оболочками двойкой кривизны. Характеристикой кривизны поверхностей является Гауссова кривизна – величина определяемая выражением  $K = 1/(R_1 R_2)$ . Знак кривизны зависит от расположения центров радиусов кривизны  $R_1$  и  $R_2$  по отношению к поверхности. При расположении центров по одну сторону поверхности кривизна имеет положительное значение, по разные стороны – отрицательное.

К поверхностям положительной Гауссовой кривизны относятся все купольные оболочки (сфероид или эллипсоид вращения), оболочки переноса, бочарные своды и т.п. Ярким примером поверхности отрицательной кривизны является гиперболический параболоид, получаемый путем перемещения



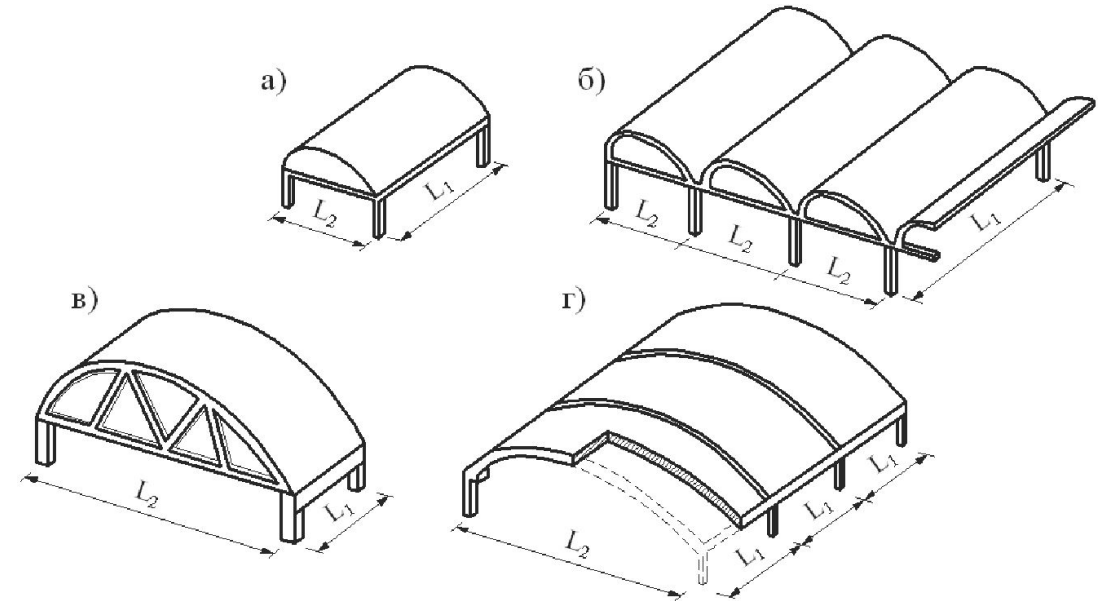
**а), б) оболочки положительной Гауссовой кривизны;  
в) оболочки отрицательной Гауссовой кривизны**

# ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ

Если поверхность оболочки имеет кривизну только в одном из направлений (в другом кривизна нулевая), то ее называют поверхностью нулевой кривизны (цилиндрическая и коническая поверхности). Такие поверхности имеют прямолинейные образующие.

Оболочки являются пространственными конструкциями, как по форме, так и по характеру работы под нагрузкой. Варьируя формой можно значительно повышать их несущую способность и общую жесткость, не изменяя при этом расхода материала. По сравнению с плоскостными конструкциями они являются более экономичными.

Цилиндрические своды-оболочки делят на длинные и короткие. Если перекрываемый пролет больше чем шаг между опорами то свод-оболочка считается коротким, в противном случае – длинным.



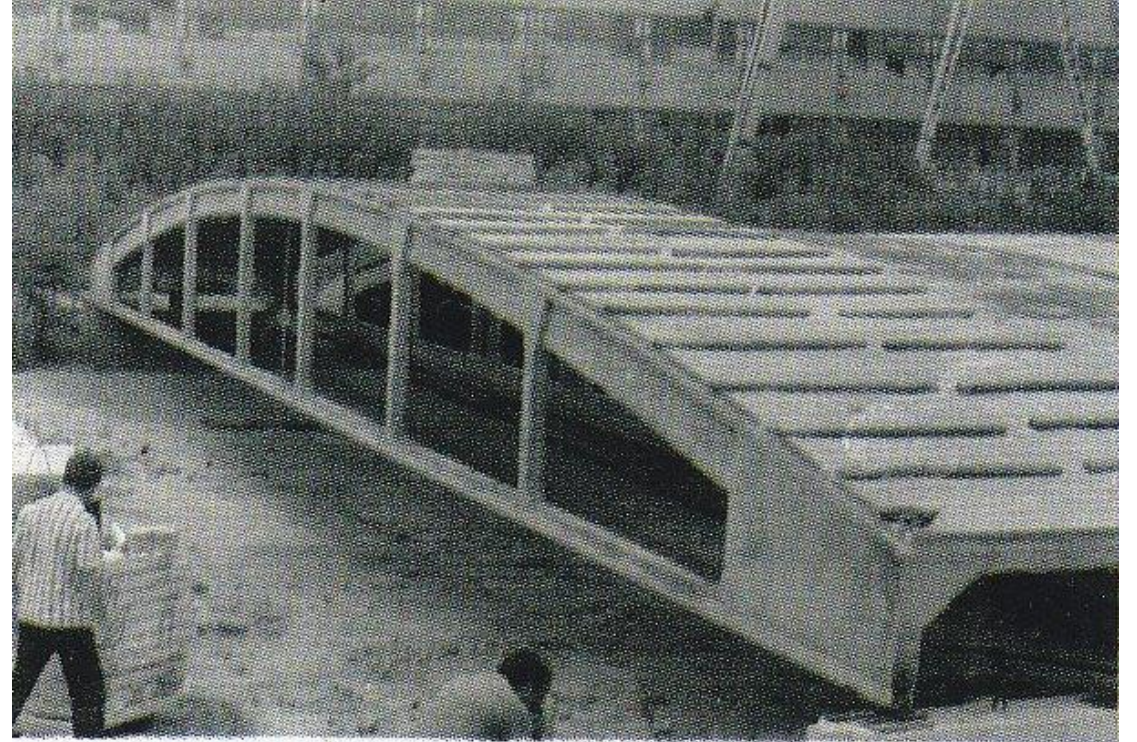
**Цилиндрические своды-оболочки:**  
**а), б) длинная однопролетная и**  
**многоспандовая;**  
**в), г) короткая одно- и многоспандовая**



# ПРИМЕРЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК



**Тоннель метрополитена**



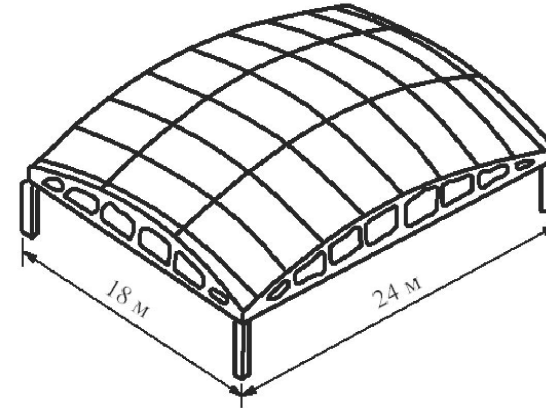
**Сборная короткая цилиндрическая  
панель-оболочка покрытия**



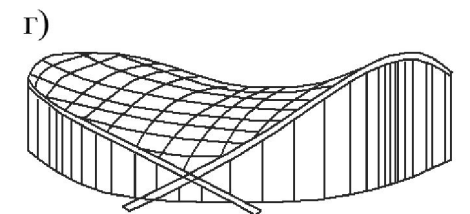
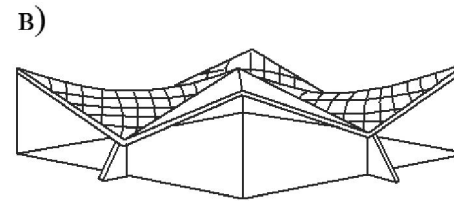
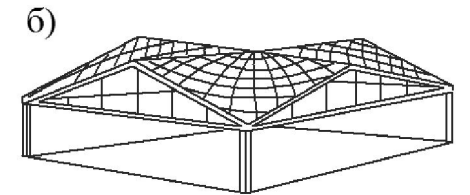
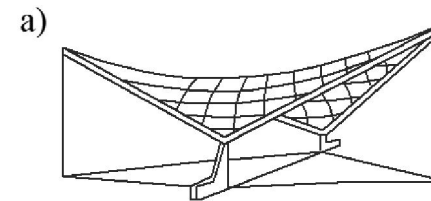
# ОБОЛОЧКИ ДВОЯКОЙ КРИВИЗНЫ

Оболочки двойкой кривизны по расходу материала выгоднее, чем оболочки одинарной кривизны. В массовом строительстве широко распространены пологие оболочки положительной Гауссовой кривизны на прямоугольном плане. Если стрелы подъёма оболочки не превышают  $1/10$  по обеим сторонам в плане, то она считается полой.

Из оболочек отрицательной кривизны наибольшее применение получили гиперболические параболоиды (гипары) благодаря их яркой выразительности. Это очень эффективные конструкции для покрытий больших пролетов (до 70 м и более), они обладают большой жесткостью и несущей способностью. Они дают возможность создать достаточно тонкую оболочку и получить большую экономию материала по сравнению с другими оболочками того же пролета. Форма гипаров в плане может быть квадратной, прямоугольной, овальной и др. Гипары могут быть одно- и многопролетными. В строительстве используют как одиночные гипары так и их различные сочетания



□ железобетонная оболочка положительной Гауссовой кривизны на прямоугольном плане



Оболочки отрицательной Гауссовой кривизны: а) одиночный гипар, б), в) комбинация одиночных гипаров, г) седловидное покрытие

# ПРИМЕРЫ ОБОЛОЧЕК ДВОЙКОЙ КРИВИЗНЫ

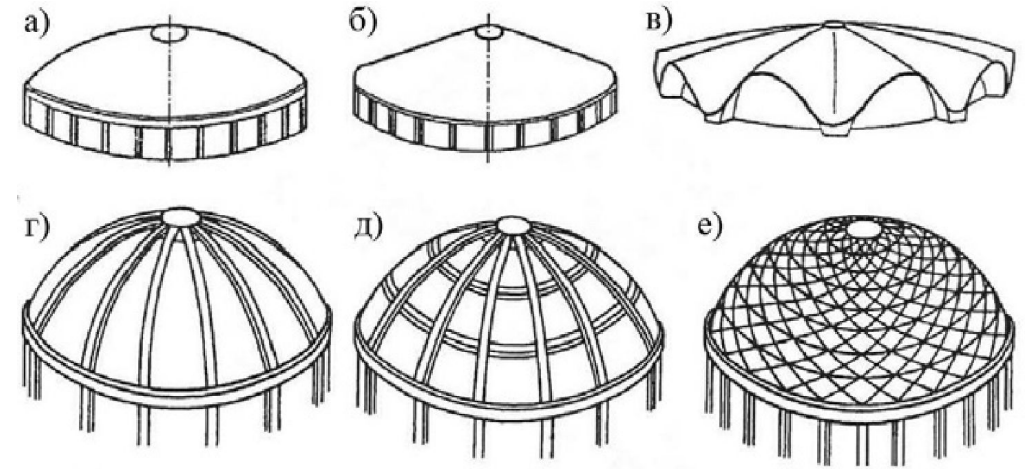


Торговый центр в Челябинске

Для перекрытия круглых в плане помещений применяют гладкие, ребристые, складчатые или волнистые своды и купола. Волнистые своды и купола представляют собой варианты оболочек, гладкая поверхность которых заменена волнистой. Применение волнистой поверхности позволяет предусматривать устройство светопрозрачных включений (окон) по боковой поверхности волн или в их торцах.

Купольное покрытие состоит из оболочки купола, нижнего опорного кольца, верхнего кольца и (в случае наличия) проема в центре вверху купола. Нижнее опорное кольцо работает на растяжение, верхнее – на сжатие.

Купольные покрытия являются наиболее эффективными с инженерной точки зрения, позволяя с незначительным расходом материалов перекрывать большие пространства. Тонко-стенные железобетонные купольные оболочки проектируют гладкими, а также волнистыми или складчатыми. Стальные купола проектируют ребристыми, ребристо-кольцевыми или сетчатыми.



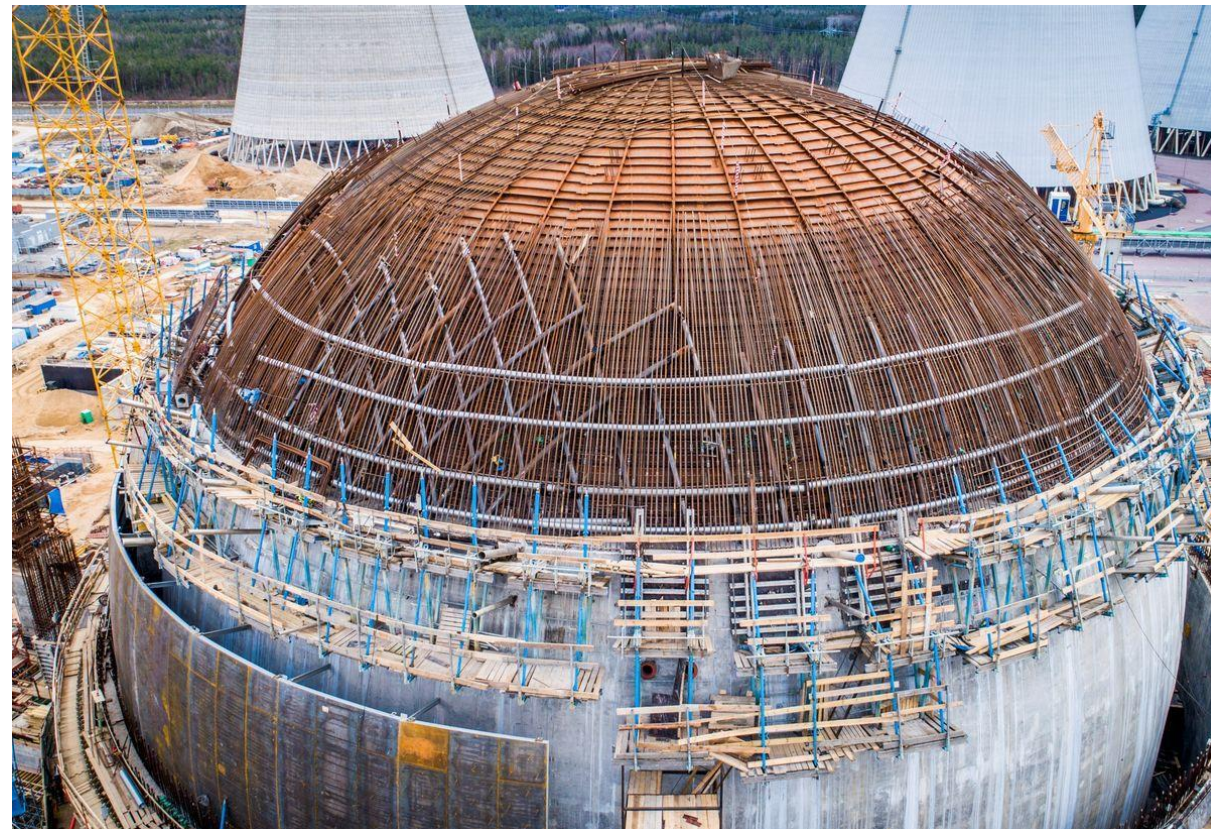
**а), б) тонкостенные гладкие; в) волнистый; г) ребристый; д) ребристо-кольцевой, е) сетчатый**



## ПРИМЕРЫ КУПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ



**Купольное покрытие Театра оперы и балета в Новосибирске**



**Возведение купольного покрытия над энергоблоком АЭС**



Наиболее простые пространственные конструкции это складки. Они представляют собой пространственные балки, составленные под углом из отдельных плоских элементов (складок) и диафрагм жесткости. Складки могут быть одно- и многоволновыми, одно- и многопролетными. Складки используют в арочных и шатровых покрытиях для помещений с прямоугольным, трапециевидным, многоугольным или криволинейным планом.

Геометрические формы складчатых конструкций различны, отдельные складки могут иметь треугольное и трапециевидное сечение и иметь друг с другом параллельные, веерные или встречные сочетания.



- **Складчатое покрытие Курского вокзала в Москве**



**Складчатое покрытие часовни Академии ВВС США, Колорадо**



**Складчатое покрытие спортивного зала «Дружба» в Москве**

# ПЕРЕКРЕСТНЫЕ СИСТЕМЫ

Перекрестные системы представляют собой пространственную конструкцию перекрытия, образованного перекрестно расположенными и связанными между собой элементами. Если это балки или фермы, то их называют перекрестно-ребристыми. Благодаря пространственной работе элементов они обладают значительно большей жесткостью, чем отдельно взятые балки и фермы. Их высота при этом значительно уменьшается, для балок до  $0,7 \dots 0,8$ , для ферм до  $0,6 \dots 0,7$ . Пересекают их обычно под углом  $90^\circ$  или  $60^\circ$ , образуя ортогональную или треугольную сетку.

Наибольший эффект их пространственной работы проявляется для перекрытия квадратных, круглых и многоугольных в плане помещений, близких к правильным фигурам. Для разгрузки основных пролетов, как правило, предусматривают консольные свесы вылетом  $1/4 \dots 1/5$  основного пролета.

Перекрестно-ребристые системы выполняют из металла, дерева и железобетона. Металлические перекрестные балки имеют двутавровое сечение высотой от  $1/24$  до  $1/30$  пролета, фермы проектируют, как правило, с параллельными поясами, высотой от  $1/14$  до  $1/18$  пролета. Деревянные перекрестные балки выполняют в виде пакетов склеенных досок высотой от  $1/16$  до  $1/20$  пролета, или перекрывают пролеты от 12 до 36 м.



**Структурное металлическое  
покрытие**



**Монолитное ребристое ж/б  
перекрытие**



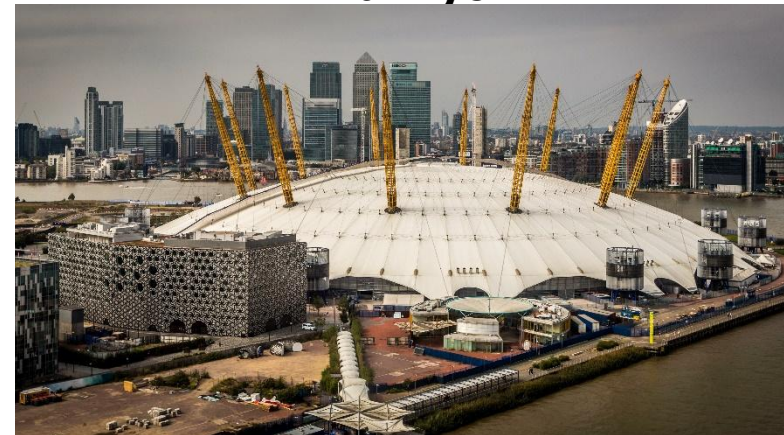
# ВИСЯЧИЕ И ВАНТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Висячими называют такие конструкции, в которых основные несущие элементы работают на растяжение. По характеру работы под нагрузкой растянутые элементы разделяют на **гибкие нити** и **ванты**. Гибкие нити несут поперечную нагрузку. Они не имеют собственной формы и поэтому под нагрузкой принимают единственно возможное очертание. Их выполняют в виде стальных канатов.

Ванты поперечной нагрузки не несут. Они растянуты только продольными силами, поэтому всегда прямолинейны. Конструкции с их применением называют вантовыми или подвесными. Вантами поддерживают конструкции второго порядка (балки, арки и т.п.), которые непосредственно и воспринимают основную нагрузку



**Висячая конструкция фабрики в Мантуе**



**Вантовая конструкция O2 Arena в Лондоне**

## МЕМБРАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Однослойные сплошные конструкции покрытий из листов или полос, раскроенные и соединенные между собой так, что они образуют заданную поверхность одинарной или двойкой кривизны называют мембранами.

Мембрана обладает высокой гибкостью и поэтому сопротивляется только растягивающим усилиям, которые называют мембранными. В отличие от висячих покрытий, в которых всю нагрузку с покрытия собирают и концентрируют в себе гибкие нити и ванты, в мембранах нагрузка распределена по всей ее поверхности, вызывая равномерные напряжения гораздо меньшей интенсивности. Поверхность мембранных покрытий может обладать всеми видами Гауссовой кривизны, но наибольшей устойчивостью обладают мембраны отрицательной кривизны, а наименьшей – нулевой.



**Мембранное покрытие СКК в Санкт-Петербурге**



# ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ И ТЕНТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Пневматическими конструкциями называют мягкие оболочки, несущие функции которых обеспечиваются воздухом, находящимся внутри них под некоторым избыточным давлением. Мягкие оболочки могут воспринимать внешние нагрузки только в состоянии предварительного натяжения. В строительных конструкциях оно может быть выполнено пневматическим и механическим способами. В первом случае конструкции называют пневматическими, во втором – тентовыми.

Пневматические конструкции разделяют на воздухоопорные, у которых избыточное давление воздуха находится под покрытием, и воздуходнесомые, у которых избыточное давление



Элементы  
тентового покрытия  
здания аэропорта в  
Денвере



Стадион водных видов спорта в Пекине с воздухоопорными элементами ограждающего покрытия



Пневнокаркасный (воздуходнесомый) ангар

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ**