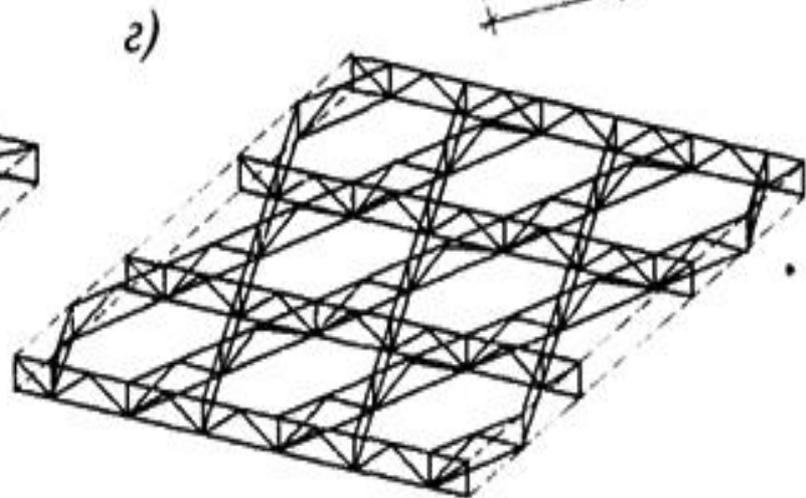
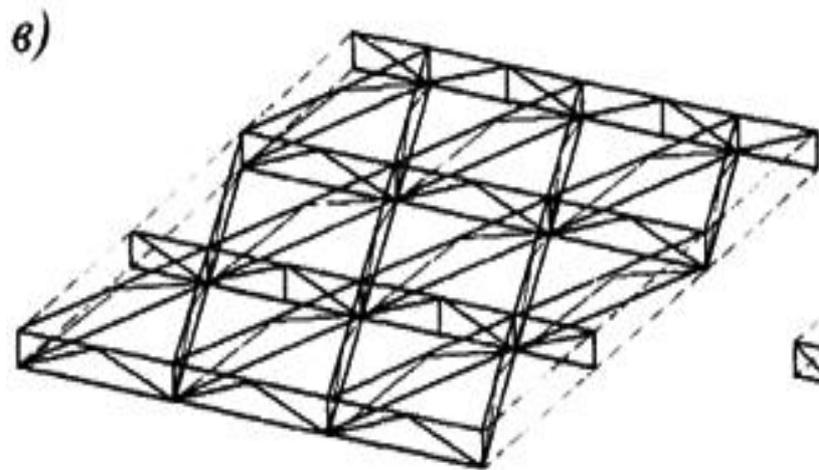
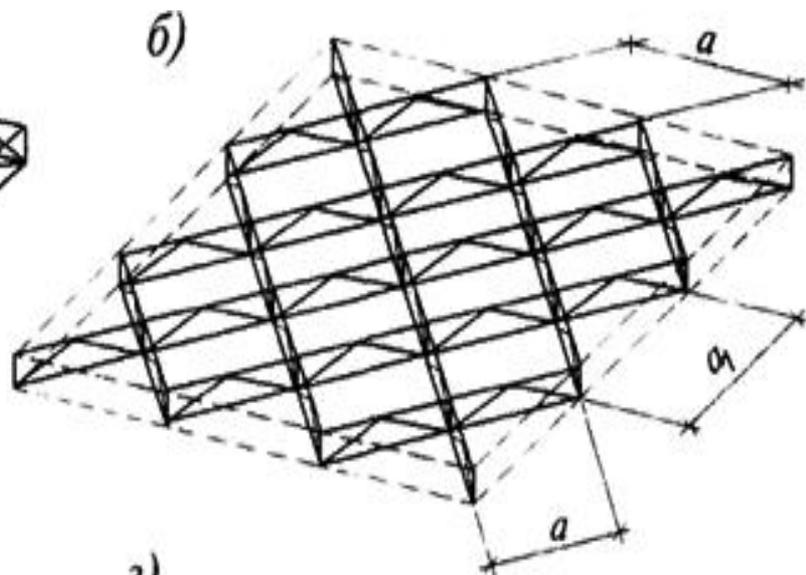
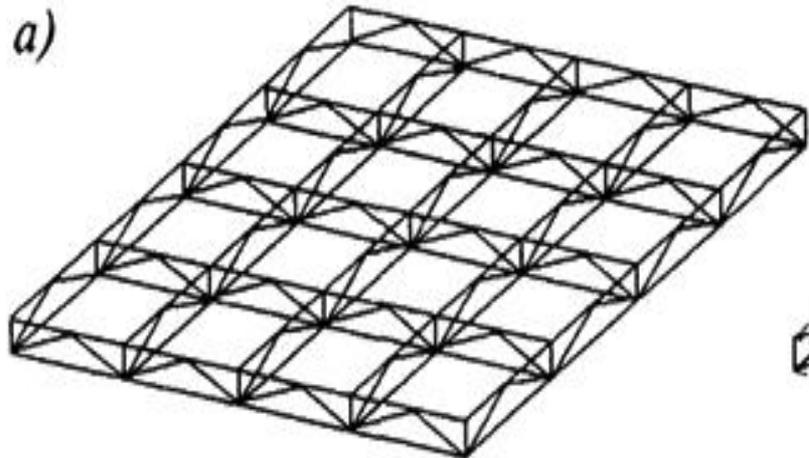




Пространственные системы  
регулярной структуры  
(сетчатые своды, оболочки,  
купола)

Выполнили  
студенты  
гр. Ст-240037  
Гаврилов Д.П  
Волков Д.А

Пространственные системы регулярной структуры основаны на принципе многосвязности. Это определяет целый ряд их преимуществ по сравнению с традиционными конструкциями, скомпонованными из стропильных и подстропильных ферм, прогонов.



**Свод (от «сводить» — соединять, смыкать)**  
— в архитектуре тип перекрытия или покрытия сооружений, конструкция, которая образуется выпуклой криволинейной поверхностью.

**Конструктивная работа:** Своды, как правило, испытывают нагрузку от собственного веса, плюс от находящихся выше конструктивных элементов здания (и погодных воздействий). Под нагрузкой свод работает преимущественно на сжатие. Возникшее вертикальное усилие сжатия своды передают на свои опоры. Во многих типах сводов возникает дополнительное усилие — горизонтальное, т.е. они начинают работать еще и на распор. Горизонтальный распор может быть минимальным, или же погашаться в теле кольцевой затяжки или иной заложеной в теле свода арматуры.

# Сетчатые своды

Как и все пространственные системы, сетчатые своды являются очень экономичными по расходу металла благодаря применению тонкостенных штампованных профилей.

Конструкция сетчатых сводов известна давно – это пространственная стержневая конструкция, узлы сопряжения стержней которой находятся на поверхности оболочки, очерченной какой-либо кривой линией. В зависимости от вида криволинейной направляющей различают круговые, параболические, эллиптические и другие типы цилиндрических оболочек.

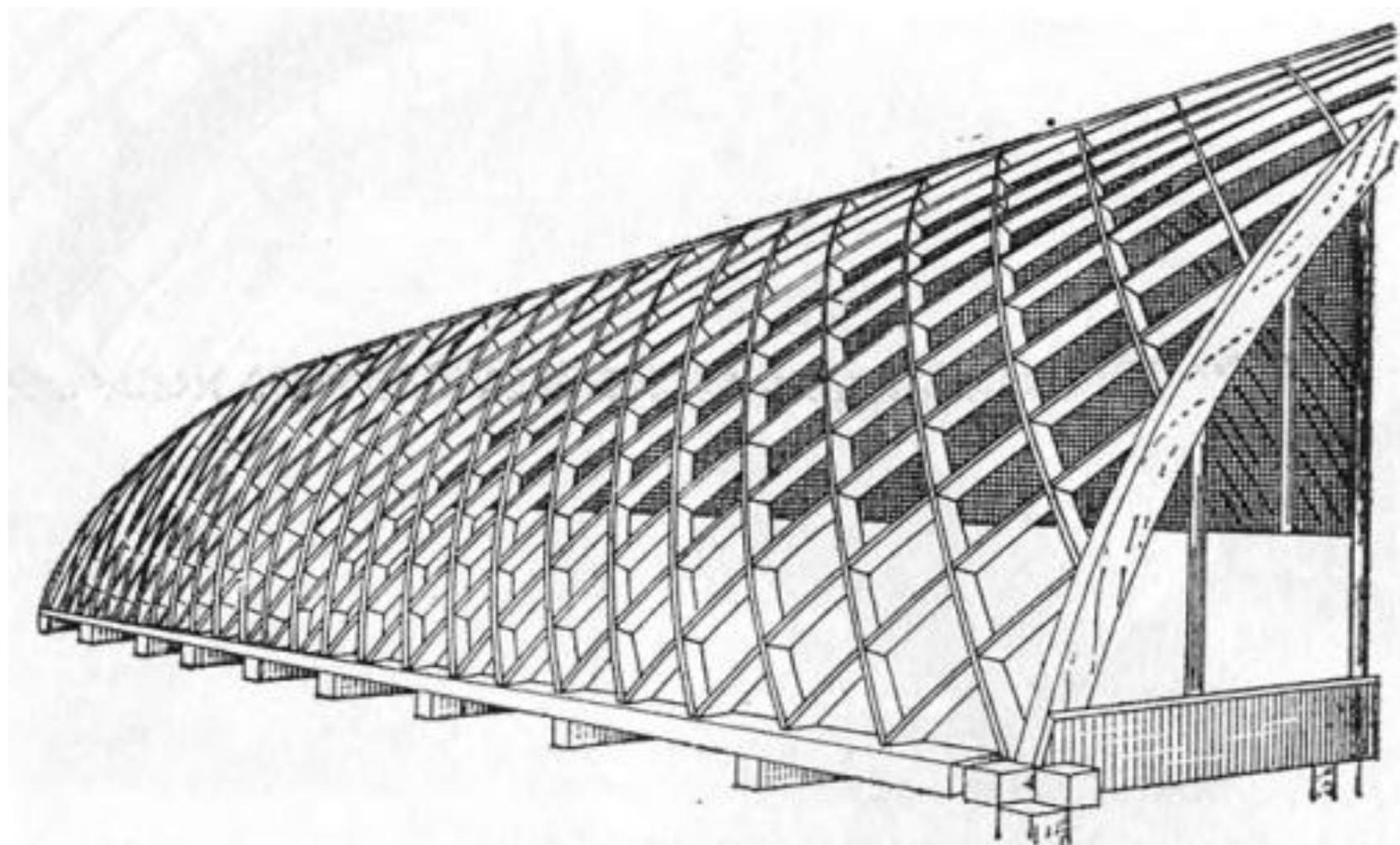


Рис. 7. Кружально-сетчатый свод системы С. И. Песельника (1932 г.)

# КОНСТРУКЦИИ КРУЖАЛЬНО- СЕТЧАТЫХ СВОДОВ

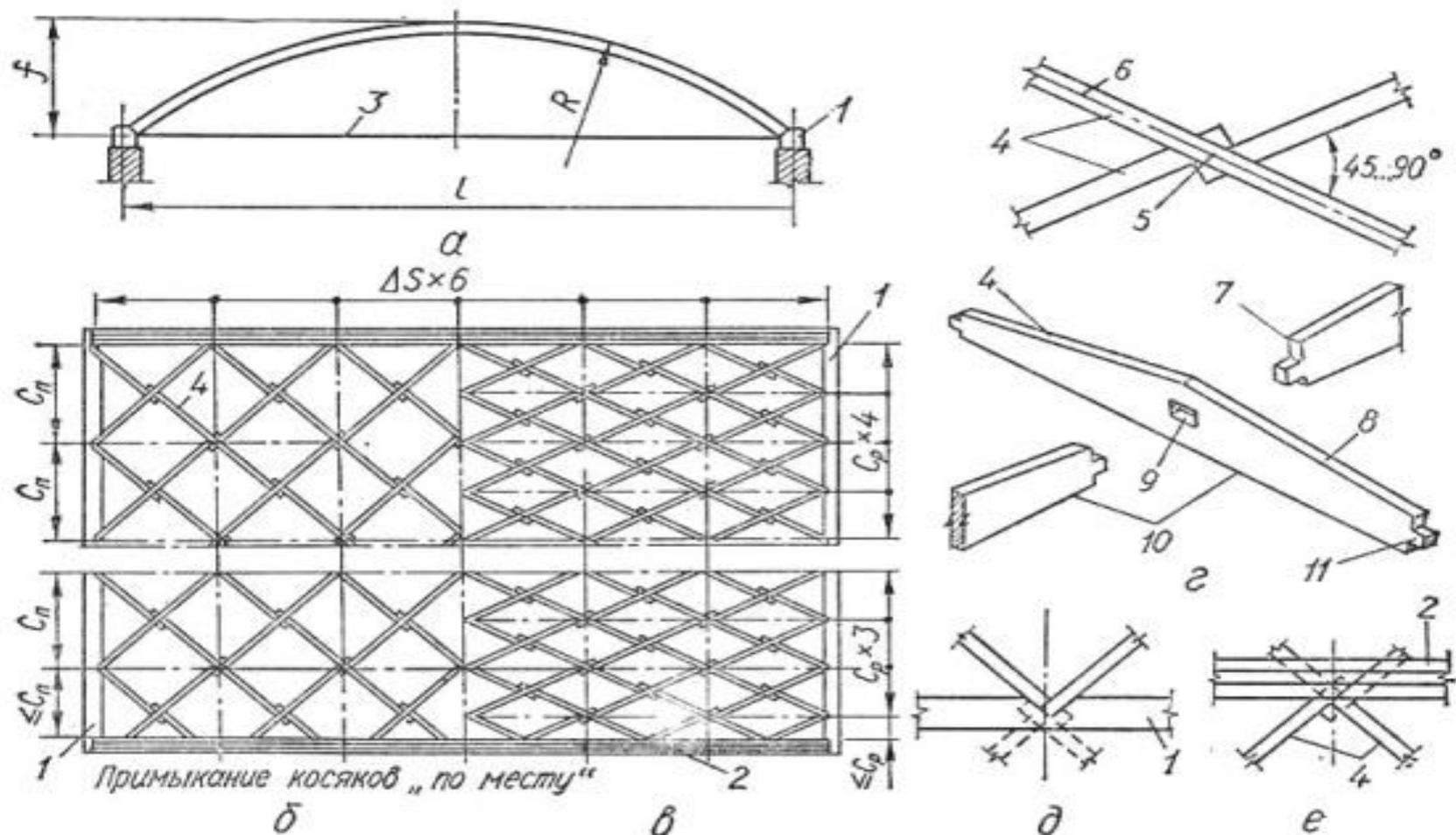


Рис. 135. Кружально-сетчатый свод системы Песельника:

*a* — общий вид; *б* — развертка свода с прямоугольной сеткой; *в* — то же, с ромбической; *г* — основной (средний) узел; *д* — опорный узел; *е* — узел примыкания к фронтовой арке; *1* — мауэрлат; *2* — фронтовая арка; *3* — затяжка; *4* — основные косяки; *5* — центр узла; *6* — ось верхней грани сквозного косяка; *7* — торец косяка; *8* — верхняя грань; *9* — гнездо; *10* — нижняя грань; *11* — шип

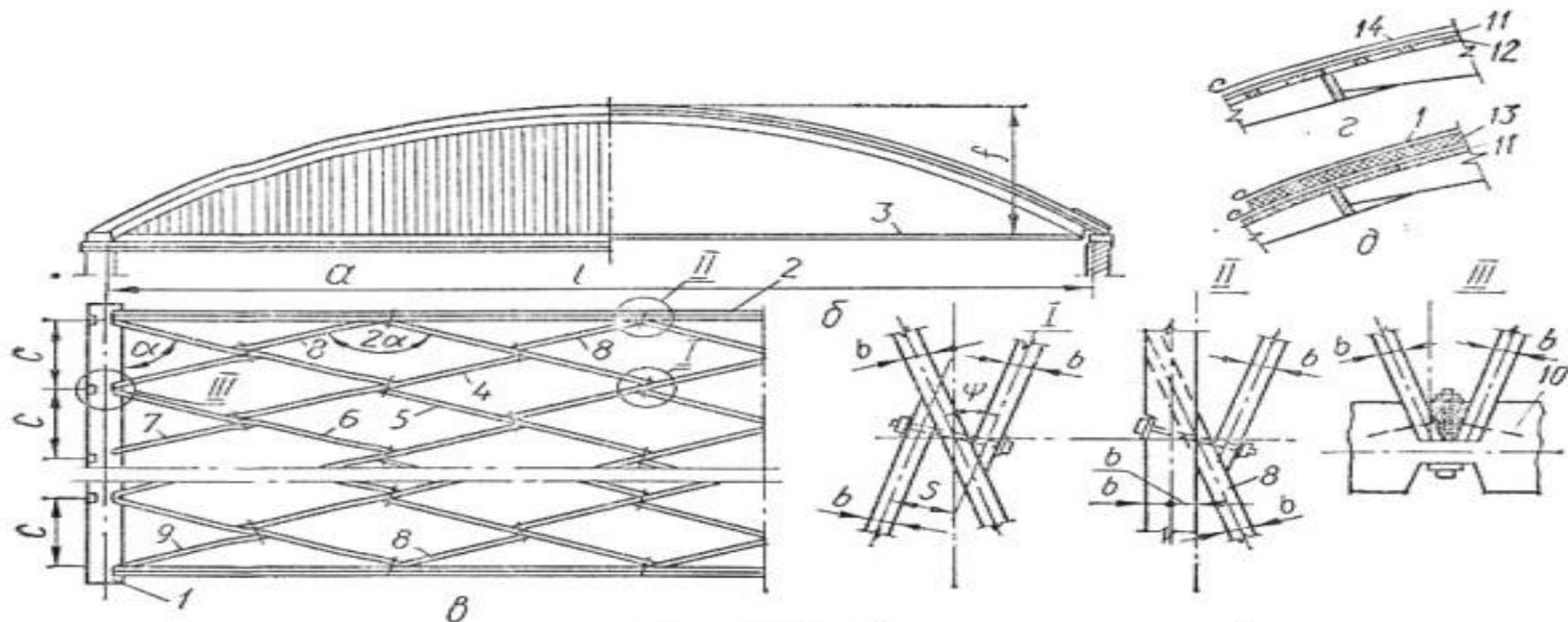
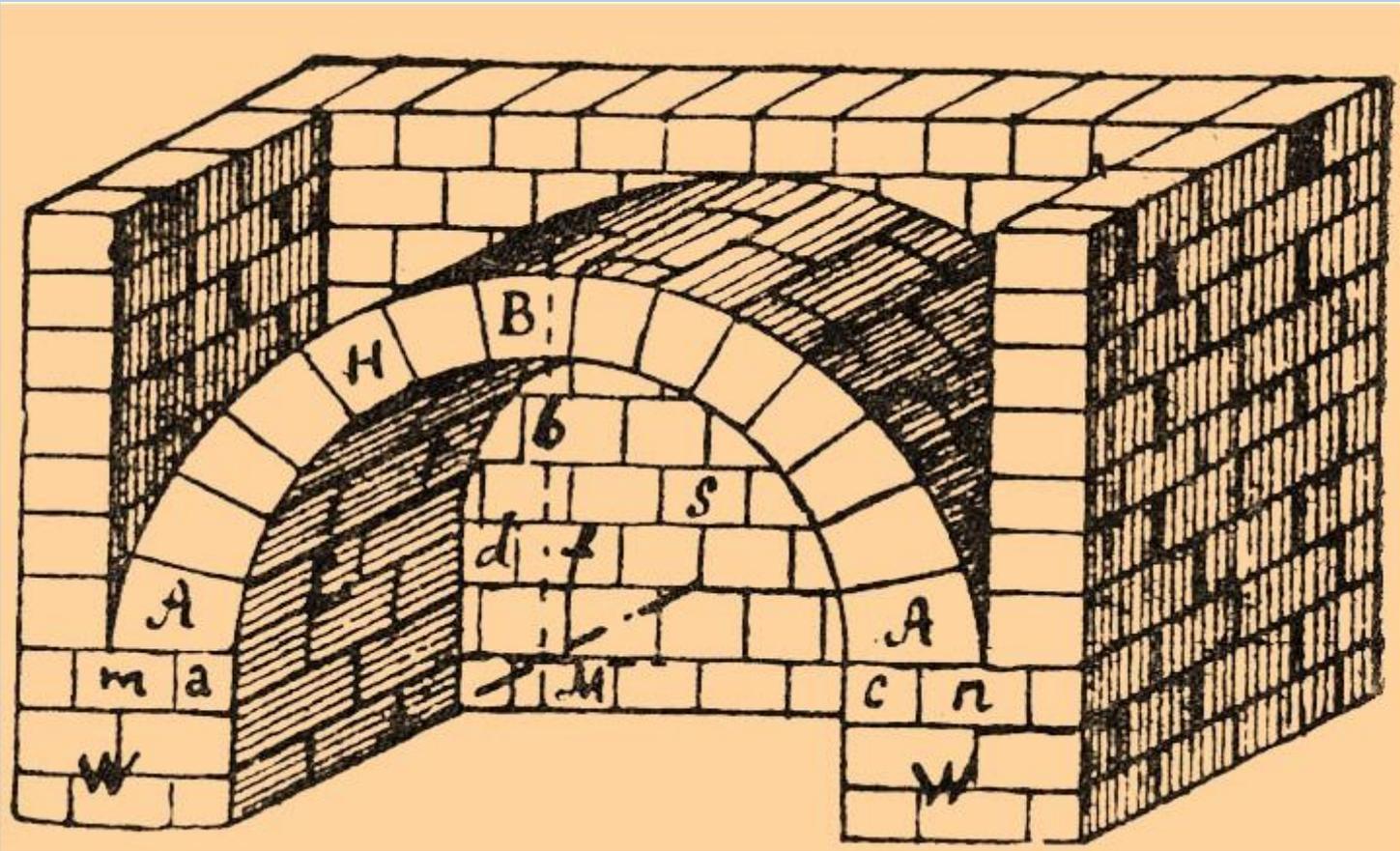


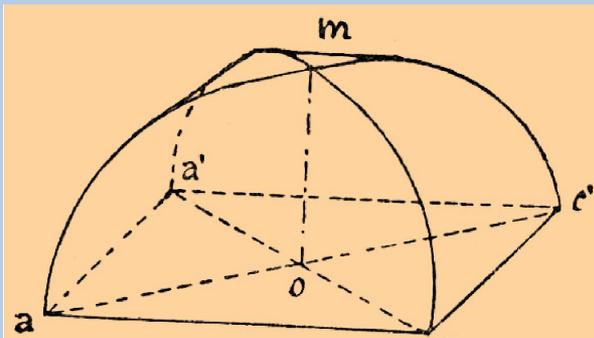
Рис. 136. Кружально-сетчатый свод системы Цолльбау:

$a$  — фасад;  $b$  — поперечный разрез;  $c$  — развернутая поверхность;  $d$  — холодное покрытие;  $\delta$  — утепленное покрытие; 1 — основной узел; II — узел примыкания к фронтовой арке; III — опорный узел; 1 — мауэрлат, или опорный брус; 2 — фронтовая арка; 3 — затяжка; 4 — основной косяк — левый; 5 — основной косяк — правый; 6, 7, 8, 9 — производные от основных косяков; 10 — монтажные гвозди; 11 — сплошной дощатый настил; 12 — обрешетка; 13 — теплоизоляция; 14 — кровля

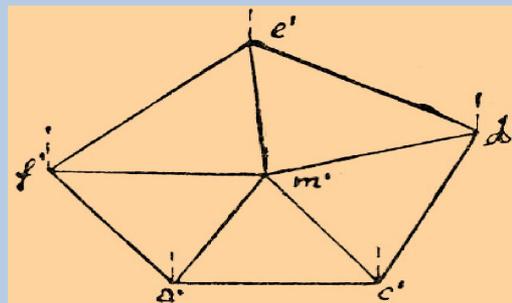
ΠΟ ΦΟΡΜΕ

# Полуциркульный свод

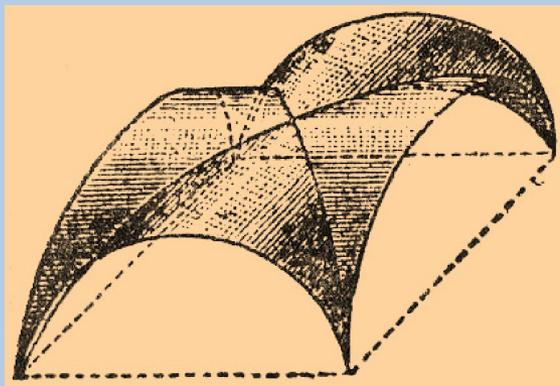




Сомкнутый свод над квадратным помещением



Сомкнутый свод над пятиугольным помещением



Крестовый свод над пересечением двух ходов

# Оболочки

**Оболочка** — строительная конструкция перекрытий зданий и сооружений. В архитектурной практике используются выпуклые, висячие, сетчатые и мембранные оболочки из железобетона, металлов, древесины, полимерных, тканых и композиционных материалов. Для расчёта таких конструкций используется специально разработанная теория оболочек.

До середины XX века перекрытия-оболочки использовались редко ввиду сложности расчёта, повышенных требований к качеству материалов и соблюдению технологий монтажа. Яркий пример — парусообразные двухслойные перекрытия-оболочки оперного театра в Сиднее, которые из-за недостаточной технической компетенции архитектора Йорна Утзона возводили более 10 лет.

# Оперный театр в Сиднее (Австралия)

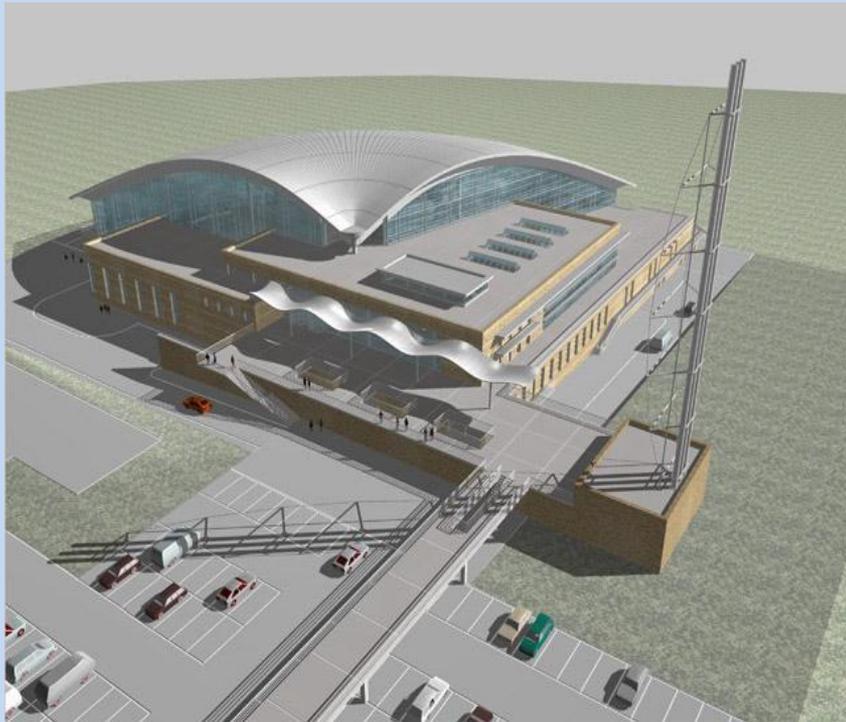


Перекрытия-оболочки использовали в своем творчестве знаменитые архитекторы Антонио Гауди, Пьер Нерви, Эро Сааринен, Оскар Нимейер, Кэндзо Тангэ, Бакминстер Фуллер, Норман Фостер, Фрэнк Гери, Николас Гримшоу, Сантьяго Калатрава. Полное признание и широкое распространение в прогрессивной архитектуре перекрытия-оболочки получили в течение последних двух десятилетий благодаря внедрению компьютеров в практику расчёта конструкций и появлению новых строительных материалов и технологий.

В российском климате безаварийно эксплуатируются стальные сетчатые и стальные висячие мембранные оболочки перекрытий зданий и сооружений.

Доверие к железобетонным оболочкам в России было сильно подорвано в 2000-е годы из-за ряда аварий, произошедших из-за недостатков проектирования и эксплуатации зданий.

# Трансвааль-Парк в Москве (проект и последствия)

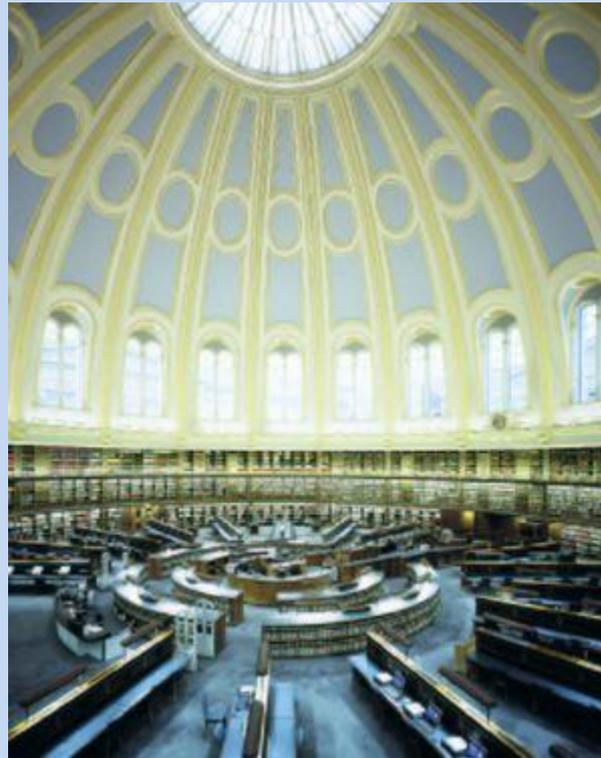


В Лондоне перекрыт самый большой двор в Европе - Большой Двор Королевы Елизаветы Британского музея. Проект реконструкции принадлежит перу Нормана Фостера, который в очередной раз не изменил себе и предложил применить ультрасовременную светопрозрачную конструкцию в комбинации со скрупулезной реставрацией исторического здания

# Вид из двора на круглый объем Читального зала



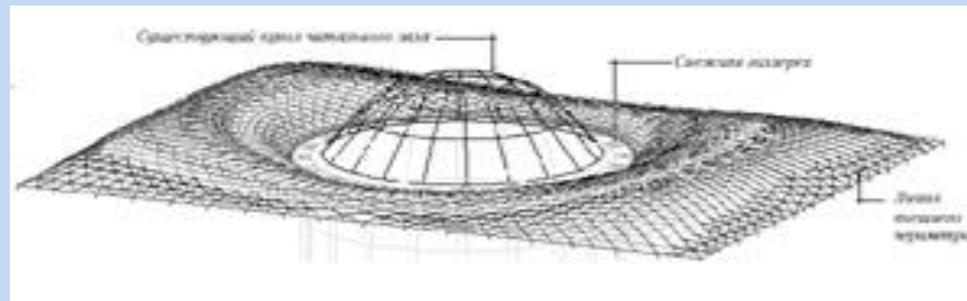
# Интерьер отреставрированного Читального зала



Для середины XIX века здание Читального зала имело довольно прогрессивную конструкцию - в ее основе лежал рамный каркас из 20 стальных ребер, которые были связаны снаружи кирпичным барабаном. Кроме оригинального конструктивного применения кирпичная кладка одновременно выполняла и ограждающую функцию. По существу она являлась внешней стеной с прорезанными в ней арочными окнами. На высоте 19 м от уровня пола двора располагалась так называемая "Снежная галерея" - плоская кровля шириной 2 м, которая окружала покрытый медными листами купол. В центре полусферического купола на высоте 32,3 м над уровнем пола располагался световой фонарь диаметром 12,2 м. За почти полутора вековую историю Читального зала исторические конструкции изрядно поизносились, да и справиться с новыми нагрузками от покрытия двора им было явно не под силу.

В 1998 году на проект реконструкции Британского музея был объявлен конкурс. Победил вариант, предложенный тандемом двух коллективов, - Norman Foster and Partners (архитектурное решение) и Buro Happold (комплексный инженерный проект). По предложенному ими проекту реконструкции книгохранилища были разобраны (Британская библиотека была перемещена в новое здание), а здание Читального зала в центре было отреставрировано и оставлено в виде, близком к историческому. Прямоугольный Большой двор было предложено перекрыть изогнутой сетчатой конструкцией со стеклянным заполнением. При этом внешним своим краем светопрозрачная оболочка должна была опираться на внутренний периметр четырех крыльев музея, а в центре - на круглое здание Читального зала. В результате перед архитекторами и инженерами возникли две довольно нетривиальные задачи - геометрическая и конструктивная. Геометрическая сложность заключалась в том, одновременно с криволинейным, "выпуклым" очертанием самой оболочки, нужно было обеспечить плавный переход от прямоугольного внешнего периметра к круглому опиранию в центре. Эта проблема была решена с помощью применения специальной компьютерной программы, которая позволила сгенерировать необходимую форму оболочки.

# Аксанометрия расчетной схемы покрытия



Получившаяся тороподобная форма с радиусом кривизны около 50 м соответствовала как архитектурным, так и конструктивным требованиям. Дополнительной сложностью для конструкторов было то, что помимо расчетов самого покрытия необходимо было провести усиление несущих конструкций Читального зала, на который в результате приходилась значительная доля нагрузки от новой прозрачной кровли. Каркас сетчатого покрытия решено было опереть на 20 колонн, окружающих Читальный зал. Существующие колонны были заменены на своего рода композитную конструкцию: внутрь 20 стальных труб, внешним диаметром 457 мм, была помещена арматура и в образовавшуюся таким образом несъемную опалубку залили бетон.

# Вид из двора на новое покрытие



Следующей конструкцией, претерпевшей усиление, стала кирпичная Снежная галерея. Она, была разрушена, после чего была заменена на железобетонную копию со скользящим опиранием ее на колонны. Таким образом, образовалось жесткое железобетонное кольцо, которое позволяло использовать его как диафрагму жесткости для опирающейся на него сетчатой оболочки. Скользящее же опирание железобетонного кольца позволило убрать опасные для исторического каркаса горизонтальные нагрузки. Для сведения к минимуму горизонтальных усилий в местах опирания оболочки, опоры решено было сделать шарнирными.

# Узел опирания оболочки покрытия двора на балку внешнего периметра

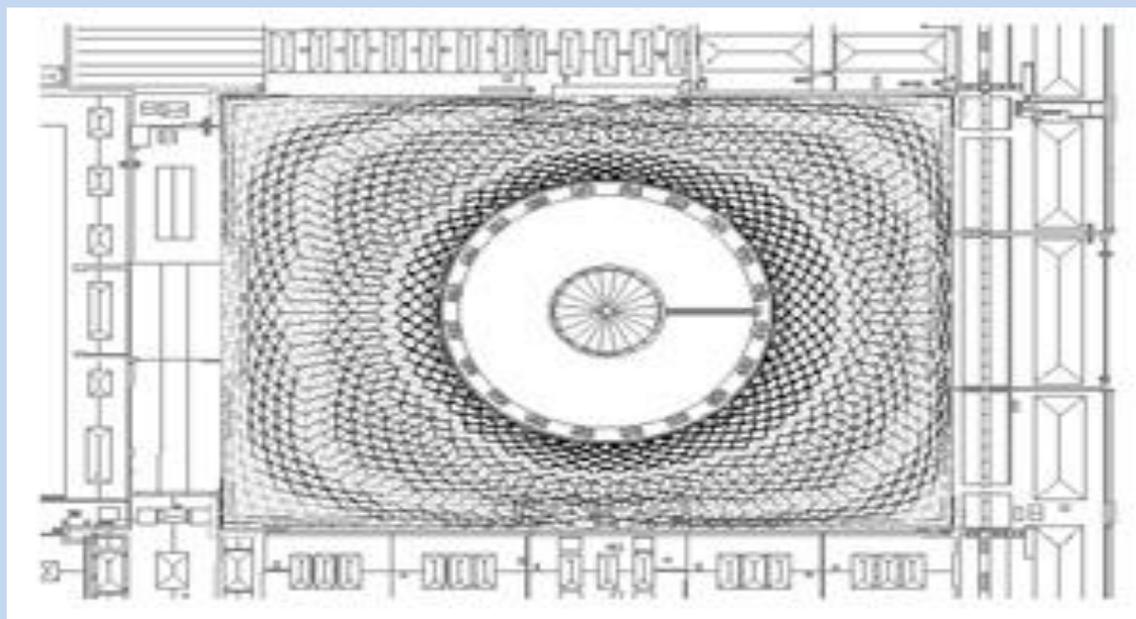


- Для этого по внешнему, прямоугольному периметру за портиками были устроены специальные площадки, на которые шарнирно опирались конструкции кровли. Тем самым практически были исключены изгибающие силы и моменты в существующих кирпичных стенах - вся нагрузка от покрытия приводилась к вертикальной.
- Правда, подвижность опор означала, что для того, чтобы кровля могла поддерживать свою форму, внешние элементы конструкции вблизи прямоугольного периметра должны были работать под одновременным воздействием изгибающих и сжимающих усилий. Этот эффект должен был распространяться через узлы во всех направлениях. Такая схема статической работы отразилась на сечении элементов. Они имеют наименьшее сечение около Читального зала, а наибольшее - вблизи фасадов внешнего периметра. Кроме того, во избежание возникновения мгновенной кинематической изменчивости всей системы в целом, в направлении каждого из четырех углов были добавлены жесткости в виде натянутых тросов.



Линии самой сетки формировались как радиальные элементы, переброшенные между Читальным залом и фасадами внешнего периметра двора.

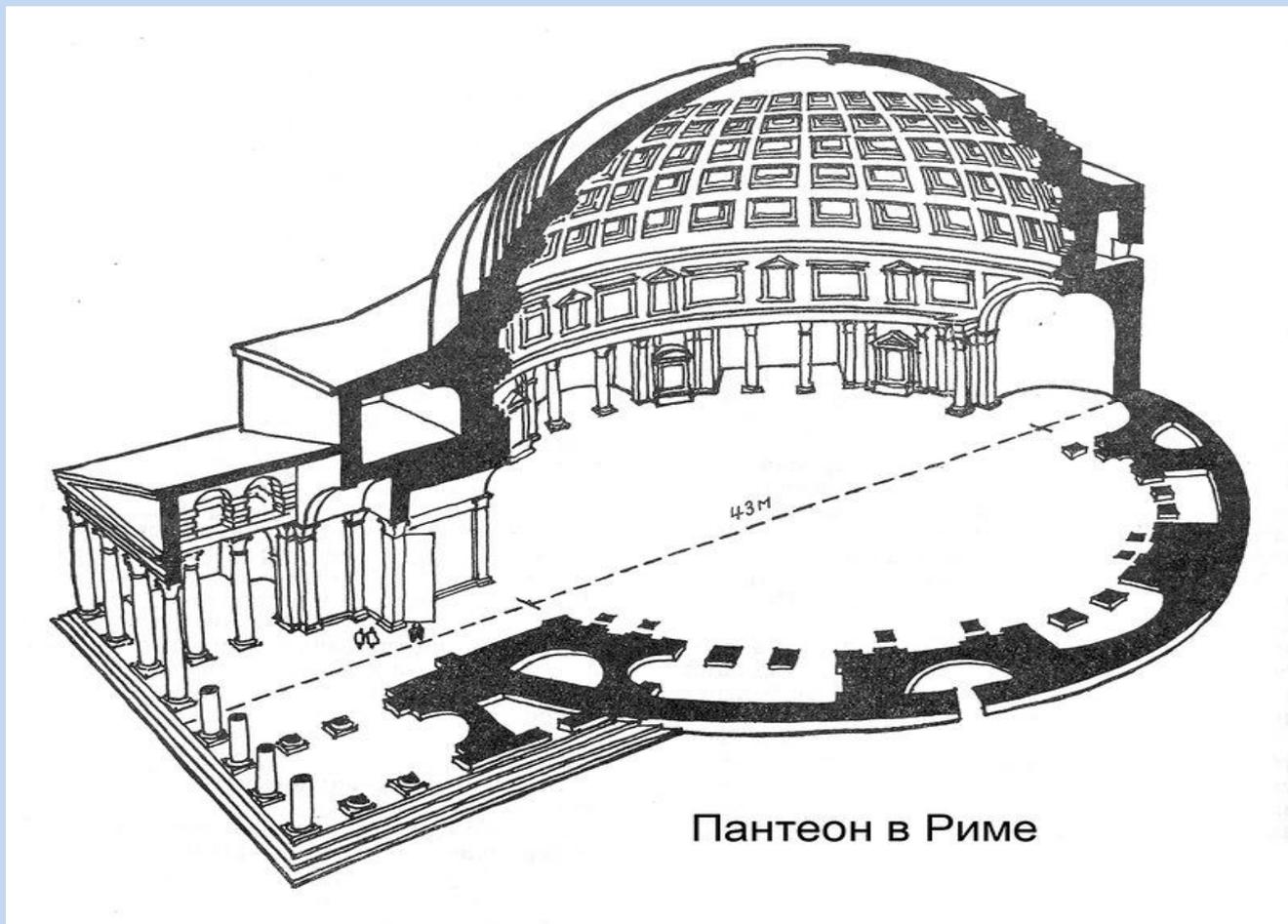
# План кровли Британского музея с новым покрытием читального зала



# Геодезический купол

**Купол** - пространственная несущая конструкция покрытия, по форме близкая к полусфере или другой поверхности вращения кривой (эллипса, параболы и т. п.). Купольные конструкции перекрывают преимущественно круглые, многоугольные, эллиптические в плане помещения и позволяют перекрывать значительные пространства без дополнительных промежуточных опор. Образующими формами служат различные кривые, выпуклые вверх. От вертикальной нагрузки в купольных конструкциях возникают усилия сжатия, а также горизонтальный распор на опорах.

# Разрез купола Пантеона



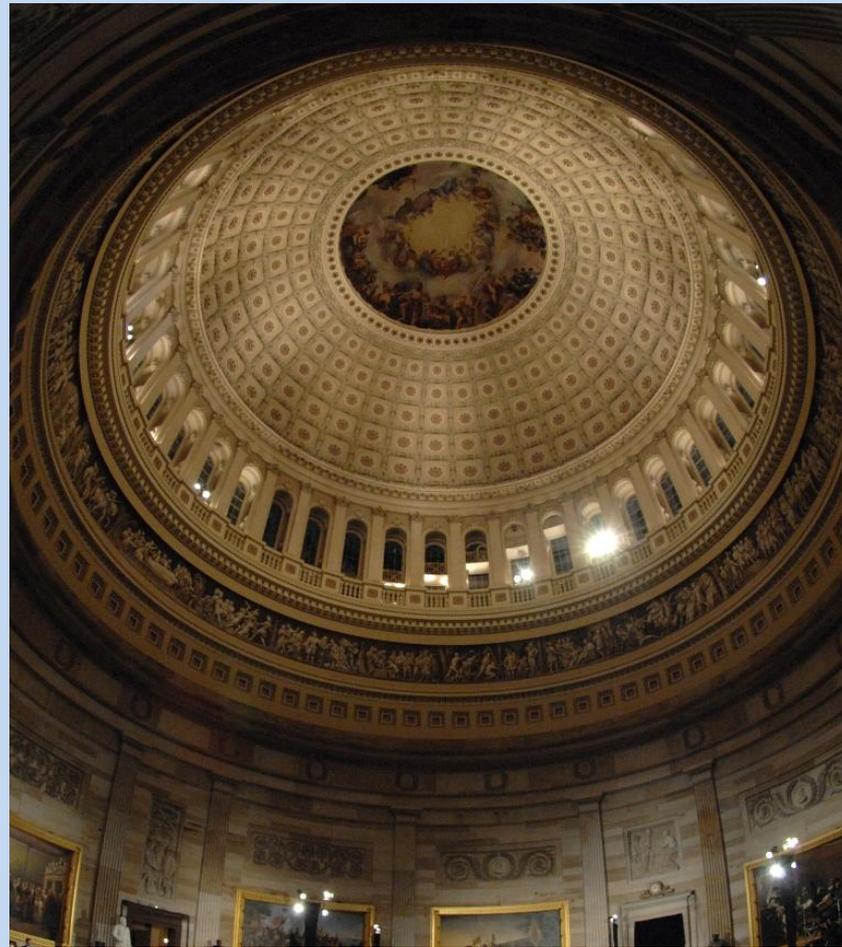
**Геодезический купол** — сферическое архитектурное сооружение, собранное из балок, образующих геодезическую структуру, благодаря которой сооружение в целом обладает хорошими несущими качествами. Геодезический купол является несущей сетчатой оболочкой.

Форма купола образуется благодаря особому соединению балок — в каждом узле сходятся ребра слегка различной длины, которые в целом образуют многогранник, близкий по форме к сегменту сферы.

# Виды геодезических куполов

**Тетра́эдр** (четырёхгранник) - многогранник с четырьмя треугольными гранями, в каждой из вершин которого сходятся по 3 грани. У тетраэдра 4 грани, 4 вершины и 6 ребер.

# Купол-тетраэдр над Ротондой Форда в Мичигане



**Икоса́эдр** - правильный выпуклый многогранник, двадцатигранник, одно из Платоновых тел. Каждая из 20 граней представляет собой равносторонний треугольник. Число ребер равно 30, число вершин - 12.



КОНЕЦ

# СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- <http://myuniversity.ru>
- Металлические конструкции: учебник для вузов / под ред. Ю.И.Кудишина
- <http://www.forma.spb.ru>
- <http://lib4all.ru>
- <http://www.klag.ru>
- <http://dic.academic.ru>
- Файбишенко В.К. Металлические конструкции: Учебное пособие для вузов.- М,:Стройиздат