

## **ЛЕКЦИЯ 3**

# **Покрытия с пространственными несущими конструкциями**

## 3.1. Характеристика стержневых систем

**Пространственными конструкциями** называются несущие конструктивные системы покрытия, которые перекрывают здание в двух направлениях (имеют три измерения).

**Пространственные стержневые системы** представляют собой пространственные фермы и классифицируются по общей конструктивной форме на типы:

- стержневые плиты (структурные системы);
- цилиндрические оболочки;
- купола (оболочки двойкой кривизны)

**Основные характеристики покрытий:**

- размеры перекрываемых пролетов;
- количество слоев решетки в покрытии;
- геометрическая схема расположения элементов в слое и схема связей между

слоями.



**Рис. 3.1. Общий вид структурного покрытия**



## Особенности пространственных стержневых систем:

- повышенная жесткость, надежность и живучесть, способность воспринимать неравномерные и сосредоточенные нагрузки;
- облегчение ограждающих конструкций вследствие частой сетки узлов;
- архитектурная выразительность и гибкость применения для зданий различного типа;
- недостатком является большая сложность изготовления и монтажа, повышенная трудоемкость выполнения узлов сопряжения элементов.

Рис. 3.2. Общий вид цилиндрической оболочки



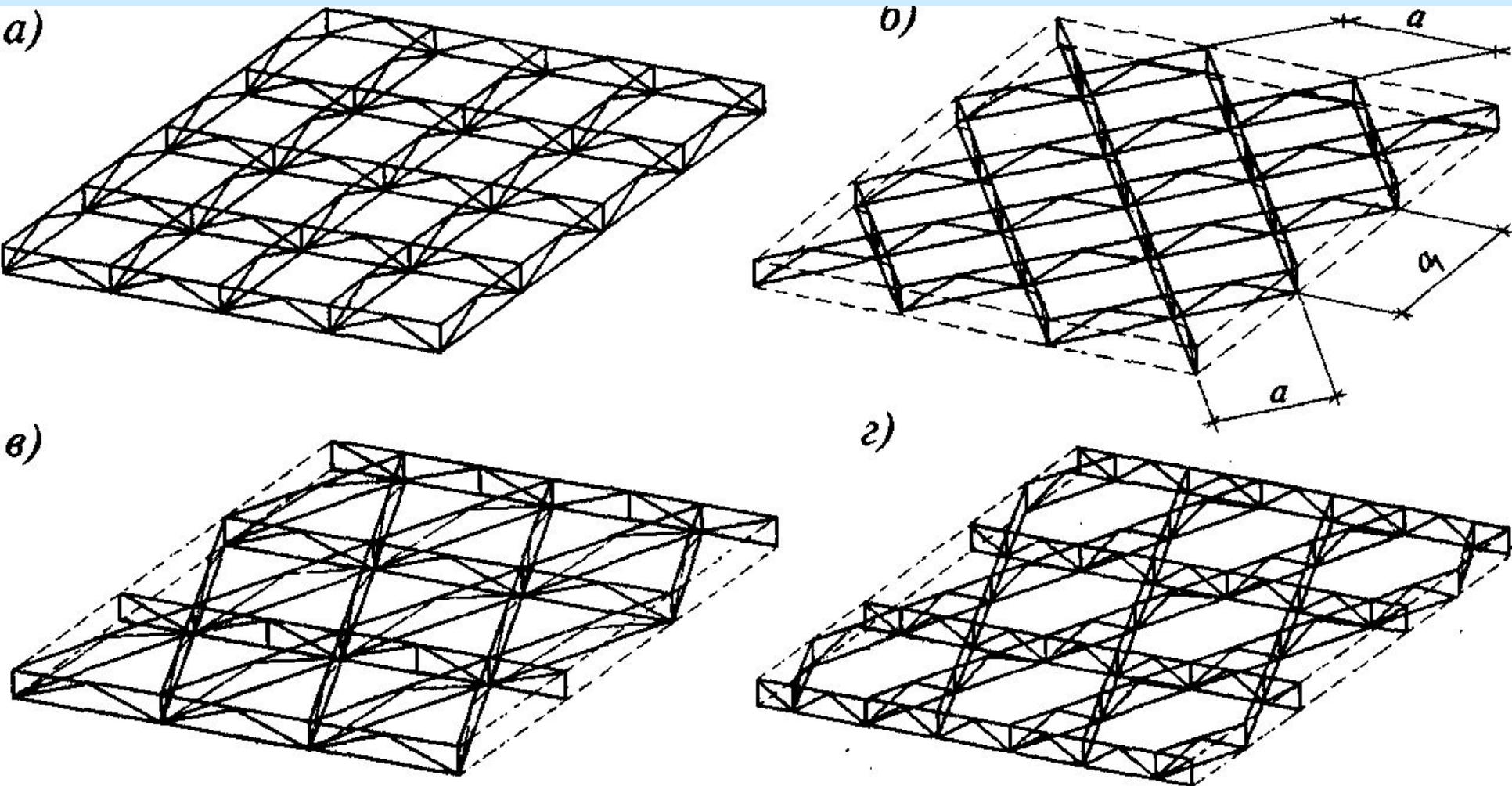
**Рис. 3.3. Общий вид купола**

## Виды плоских покрытий:

- покрытия из однослойной сети;
- двухслойные структуры, или стержневые плиты

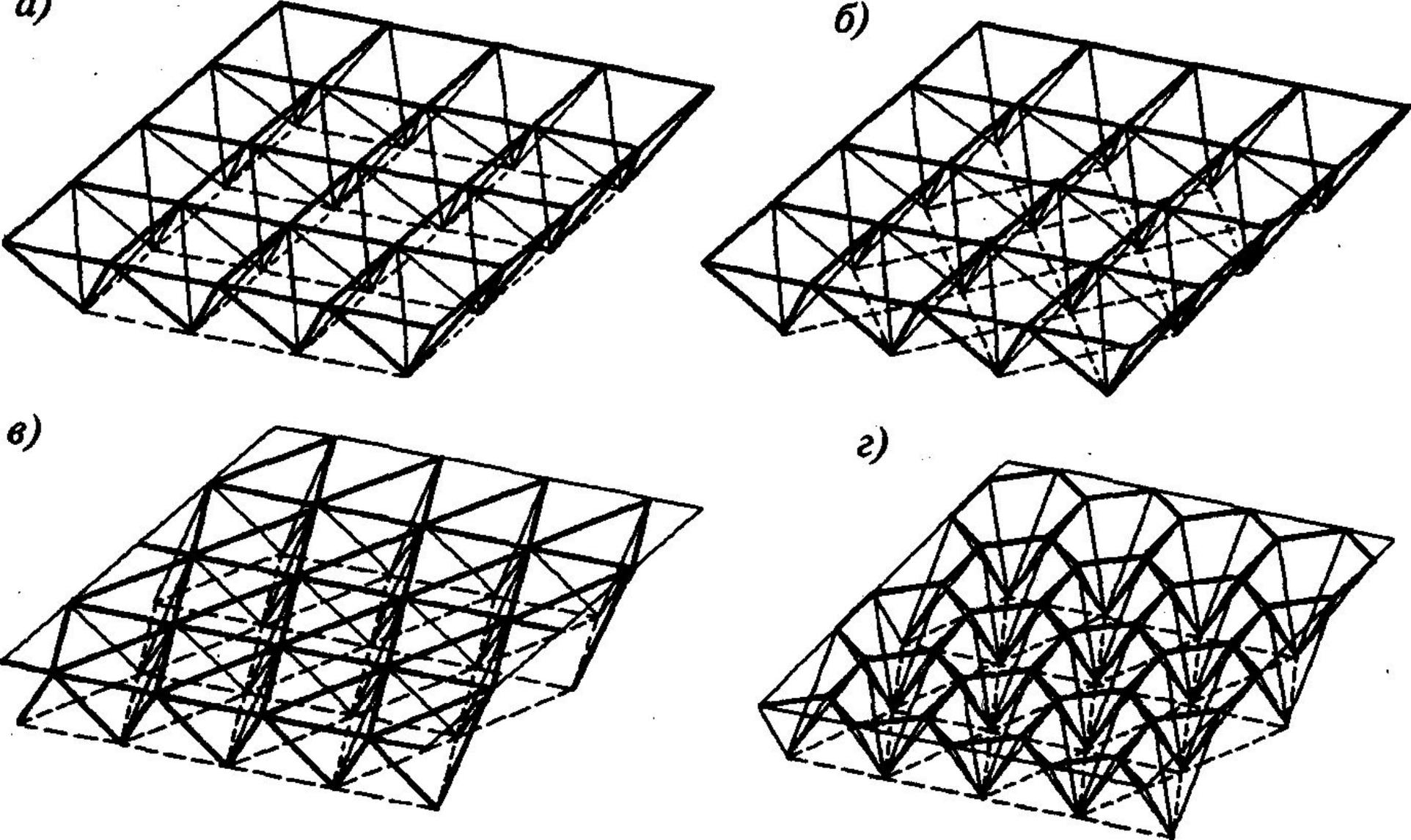
**Двухслойные структуры** включают две системы элементов, расположенные на двух параллельных уровнях. Обе эти системы объединяются элементами связей (решеткой). Различаются два типа структурных покрытий:

- 1) с сетями из вертикальных ферм, у которых верхний и нижний пояс всегда расположены в одном вертикальном плане;
- 2) пространственные сети, составленные из пирамид, с ячейками в виде квадрата или шестиугольника; могут быть двух видов:
  - слои имеют одинаковую геометрию, но смещены друг относительно друга (офсетные сети);
  - слои имеют различную геометрию (дифференциальные сети).



**Рис. 3.4. Схемы перекрытий из вертикальных перекрестных ферм:**

а, б – при расположении ферм в двух направлениях; в, г – то же, в трех направлениях



**Рис. 3.5. Схемы структурных плит:**

а, б – с квадратным основанием; в – с треугольным основанием (тетраэдров);

г – с шестиугольным основанием (гептаэдров)

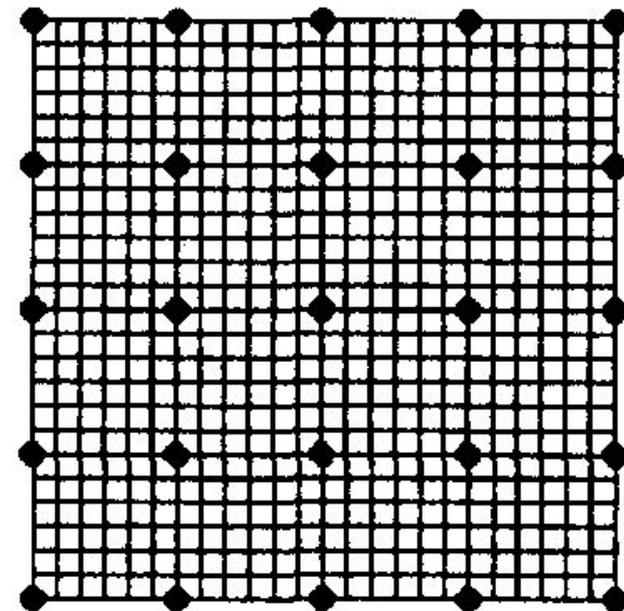
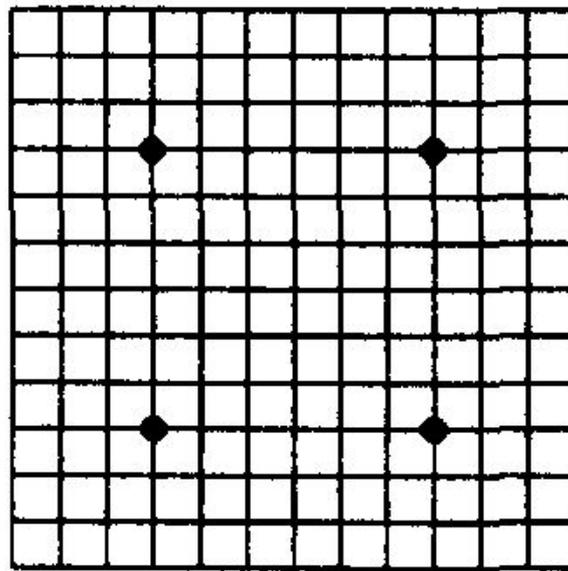
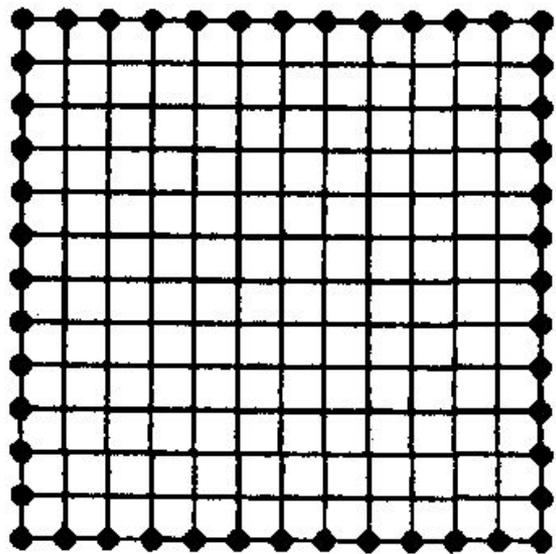


Рис. 3.6. Расположение колонн в плане: а – по контуру; б – внутри; в) смешанное

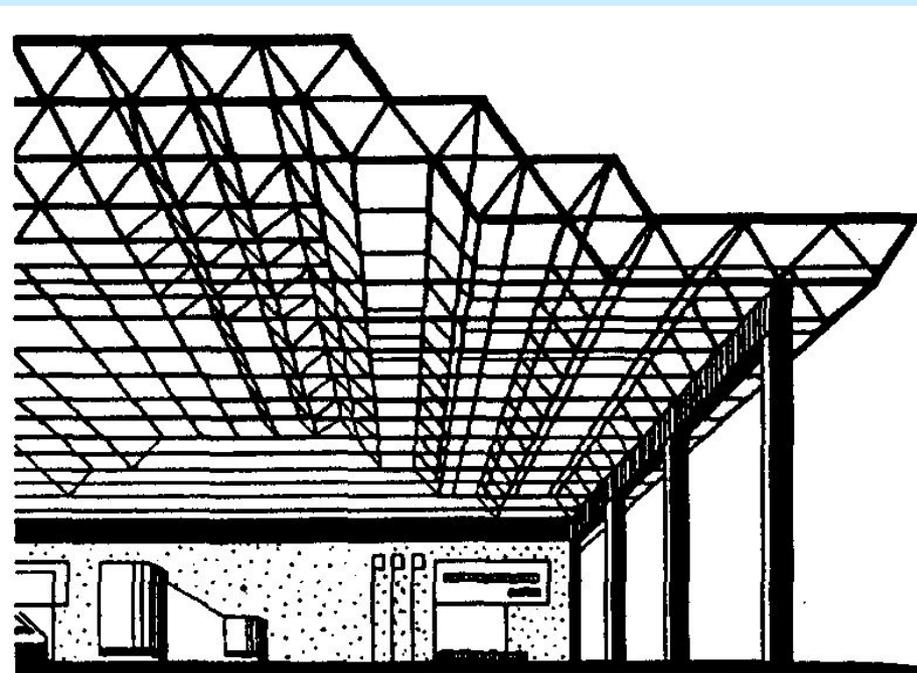


Рис. 3.7. Структурное покрытие в виде ступенчатой усеченной пирамиды

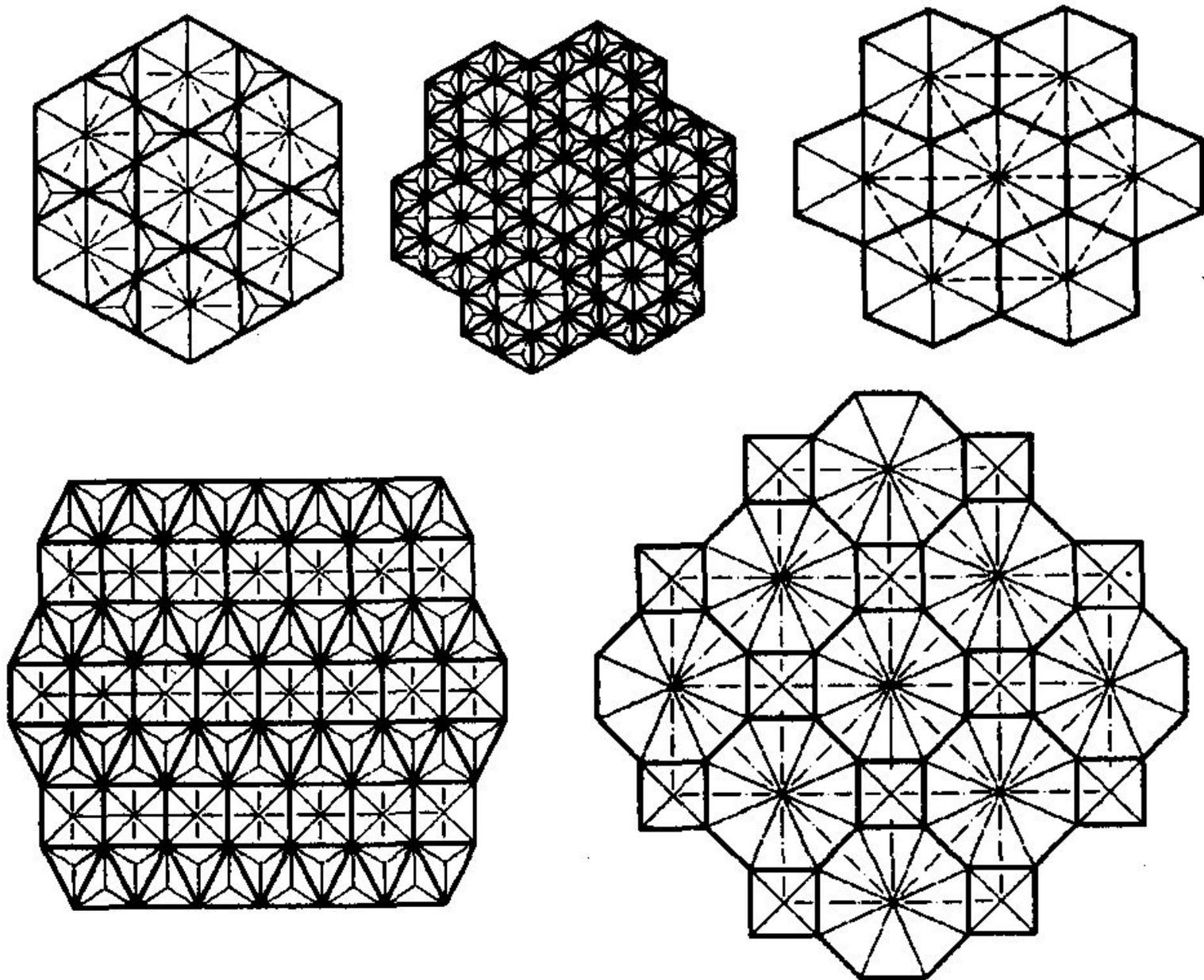


Рис. 3.8. Формы структурных покрытий в плане

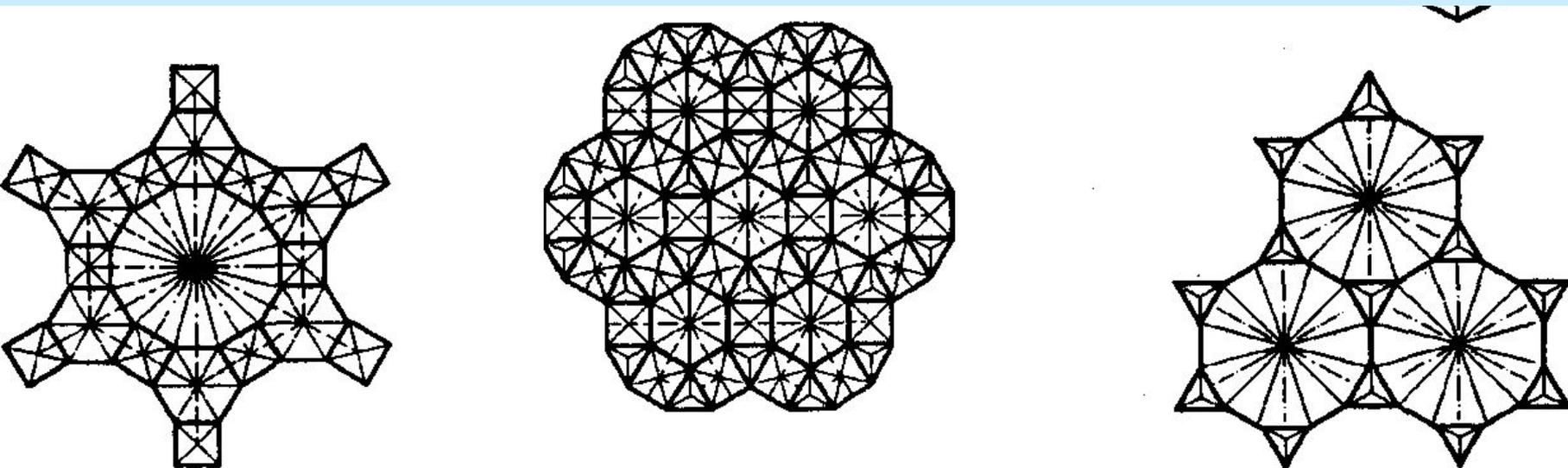


Рис. 3.9. Формы структурных покрытий в плане

Усилия в стержнях ферм:

$$N_n = \frac{k_M \cdot M_{пл} \cdot S}{h};$$

$$N_p = \frac{k_Q \cdot Q_{пл} \cdot S}{2 \sin \alpha}$$

$k_M$  и  $k_Q$  – коэффициенты, зависящие от системы структуры;  $S$  – длина поясных стержней;  $h$  – расстояние между поясными сетками (высота структуры);  $\alpha$  - угол наклона раскосов к горизонтальной плоскости

### 3.3. Цилиндрические сетчатые оболочки

По конструктивному решению своды можно разделить на несколько типов:

1. Однослойные оболочки с жесткими несущими элементами из прокатных двутавров. Однослойные оболочки обычно имеют пролет до 20 м, при наличии диагональных элементов пролет несколько увеличивается. Основные несущие элементы могут быть расположены в двух или в трех направлениях.
2. Двухслойные сетчатые оболочки имеют большую жесткость и могут достигать пролета 60 м и более.

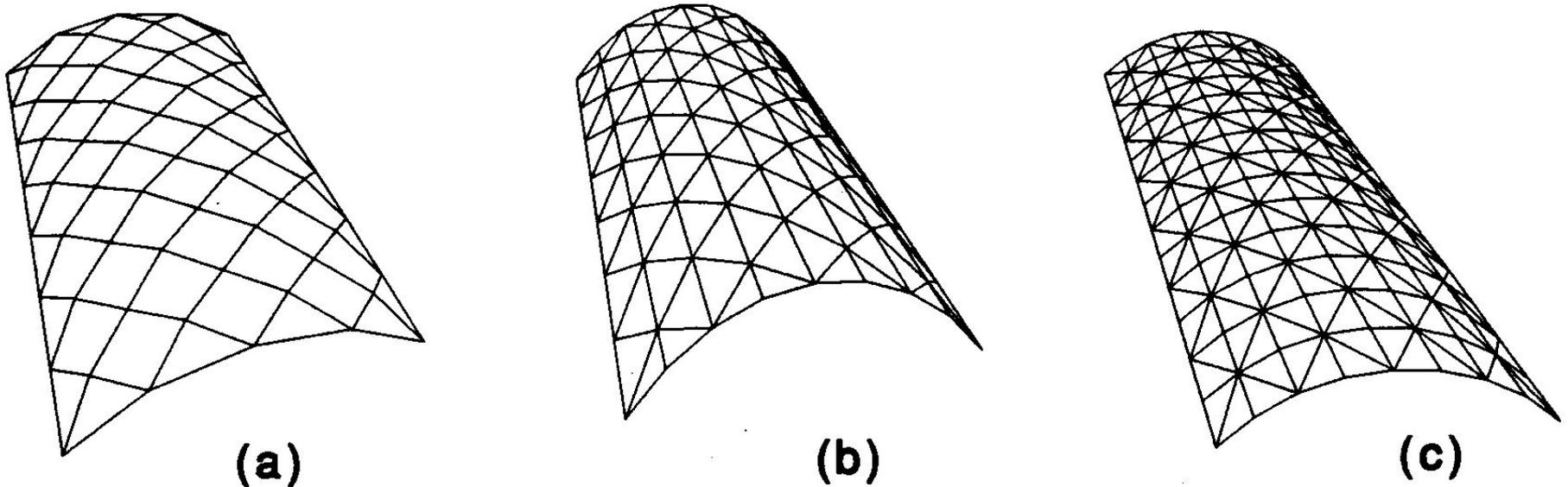
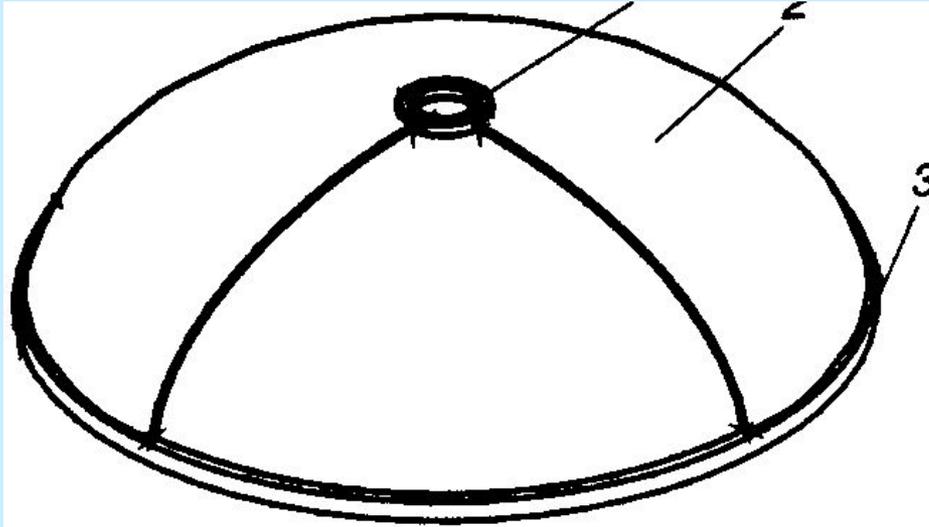


Рис. 3.10. Схемы однослойных оболочек



Рис. 3.11. Общий вид свода в ГУМе,  
г. Москва

## 3.4. Купола



**Купола** – распорные системы, состоящие из конструктивных элементов: нижний опорный контур (3), оболочку (2), верхний опорный контур (1)

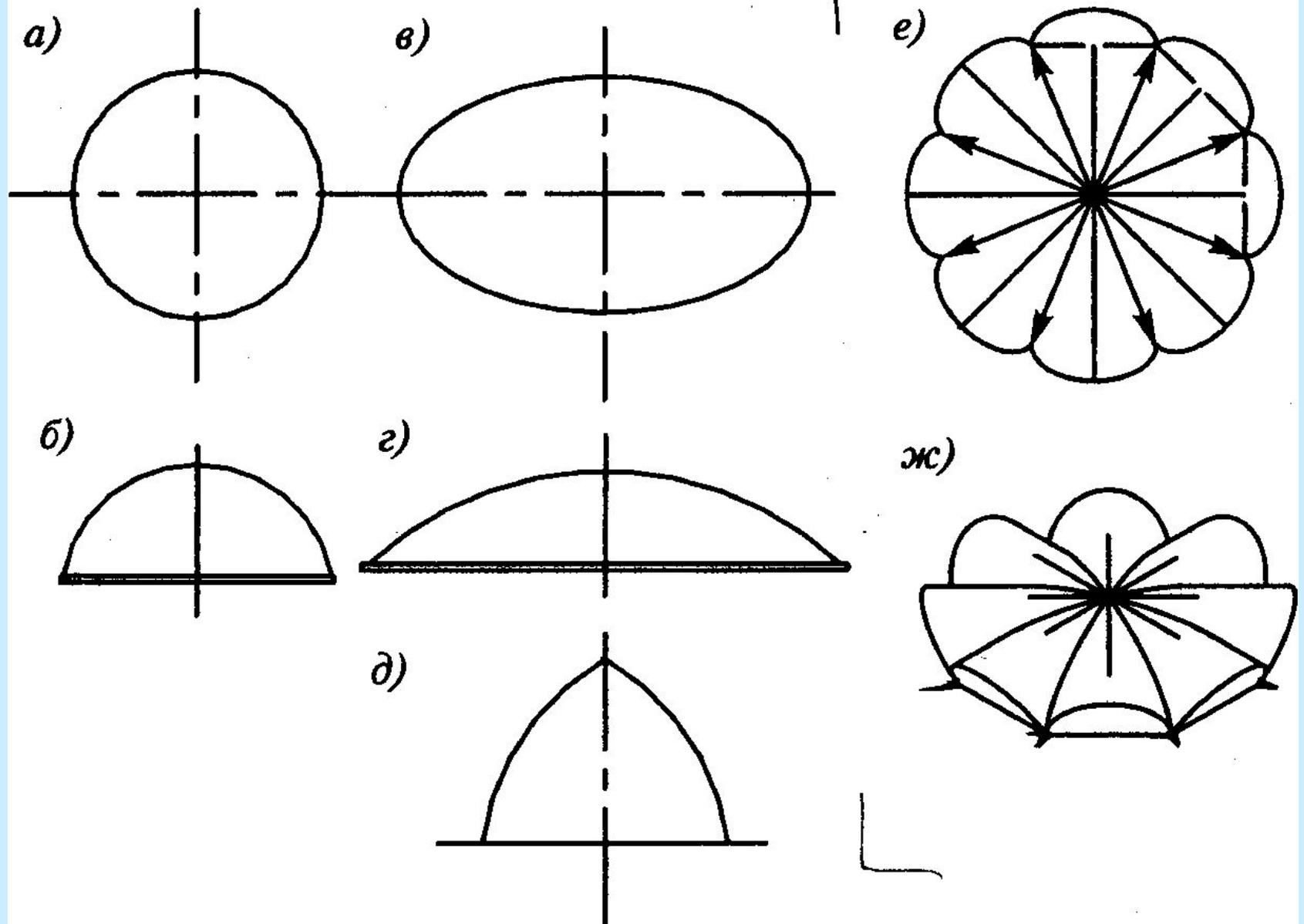
**Рис. 3.12. Конструктивная схема купола:** 1 – верхний опорный контур; 2 – оболочка; 3 – нижний опорный контур

**Основные типологии металлических куполов:**

а) по конструкции: ребристые, ребристо-кольцевые, ребристо-кольцевые со связями, сетчатые;

б) по форме: сферические, эллиптические, стрельчатые, зонтичные и другой формы;

в) по стреле подъема: подъемистые (высокие) купола, при стреле подъема  $1/2 \dots 1/5$  диаметра и пологие, при высоте подъема менее  $1/5$  диаметра.



**Рис. 3.13. Формы куполов:** а; б – план и разрез сферического купола; в, г – план и разрез эллиптического купола; д – стрельчатый купол; е – план и вид зонтчатого купола

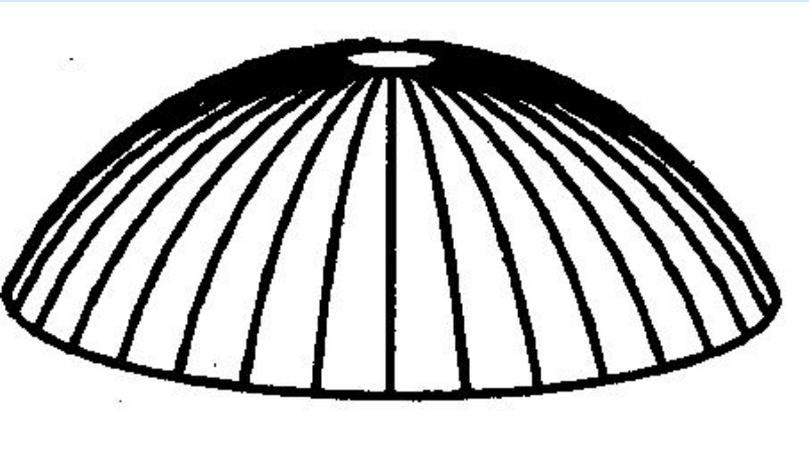


**Рис. 3.14. Ребристо-кольцевой купол**



Рис. 3.15. Сетчатый купол

### 3.4.1. Расчет ребристого купола



Верхнее кольцо, работающее на сжатие, должно быть проверено на прочность и устойчивость:

$$\sigma = \frac{N_k}{A_{в.к.}} = \frac{p \cdot r}{A_{в.к.}};$$

Рис. 3.16. Ребристый купол

$$N = p \cdot r \leq N_{кр} = \frac{3E \cdot I_{в.к.}}{r_b^2}$$

$$p = \frac{n \cdot H}{2\pi \cdot r}$$

$n$  – количество ребер;  $H$  – распор одной арки;  $J_{в.к.}$  – момент инерции кольца относительно вертикальной оси;  $A_{в.к.}$  – площадь сечения верхнего кольца;  $r$  – радиус верхнего кольца

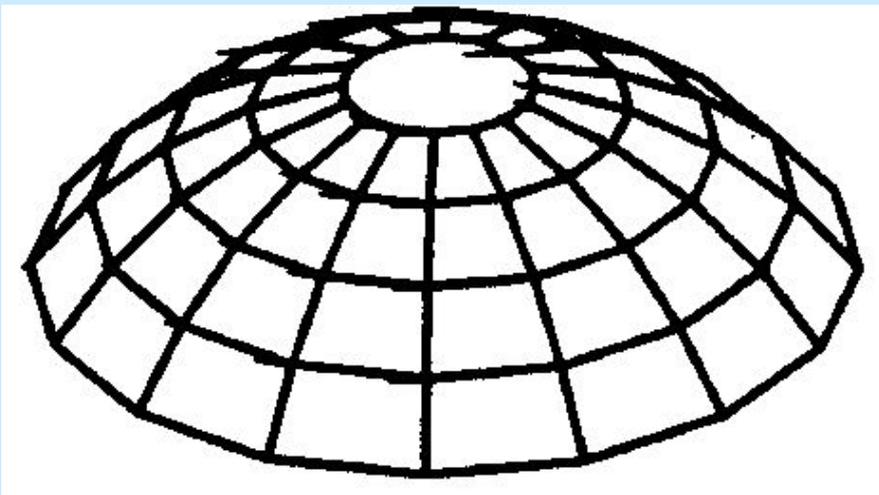


Рис. 3.17. Ребристо-кольцевой купол

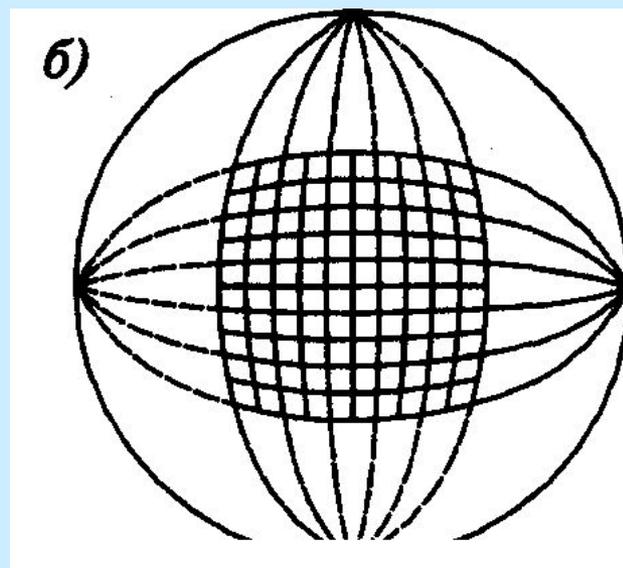
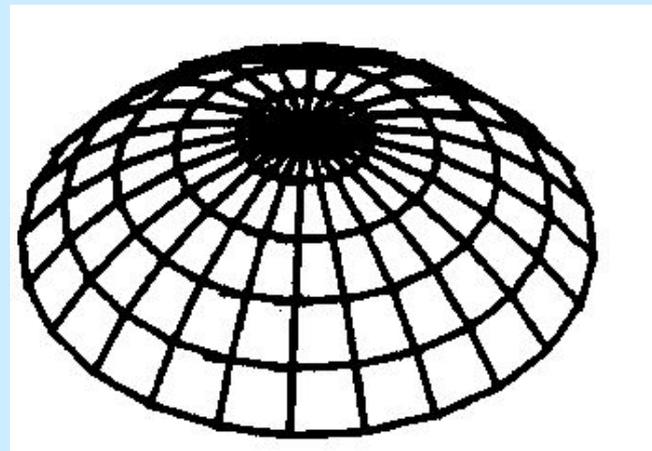


Рис. 3.19. Формирование сетки купола

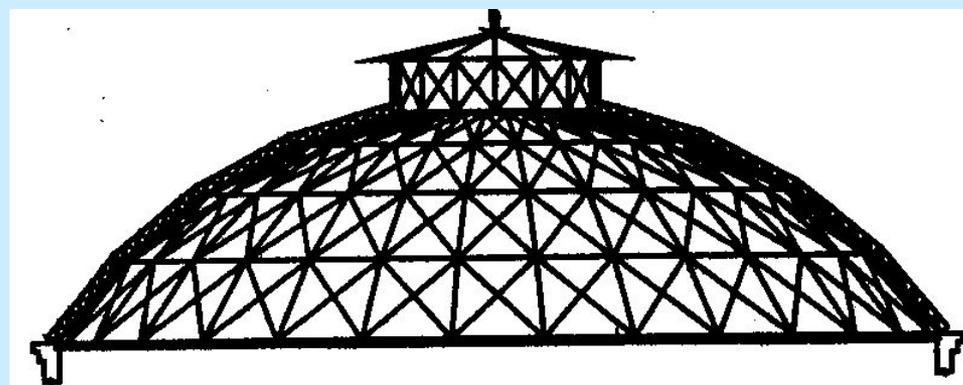


Рис. 3.18. Сетчатый купол Шведлера

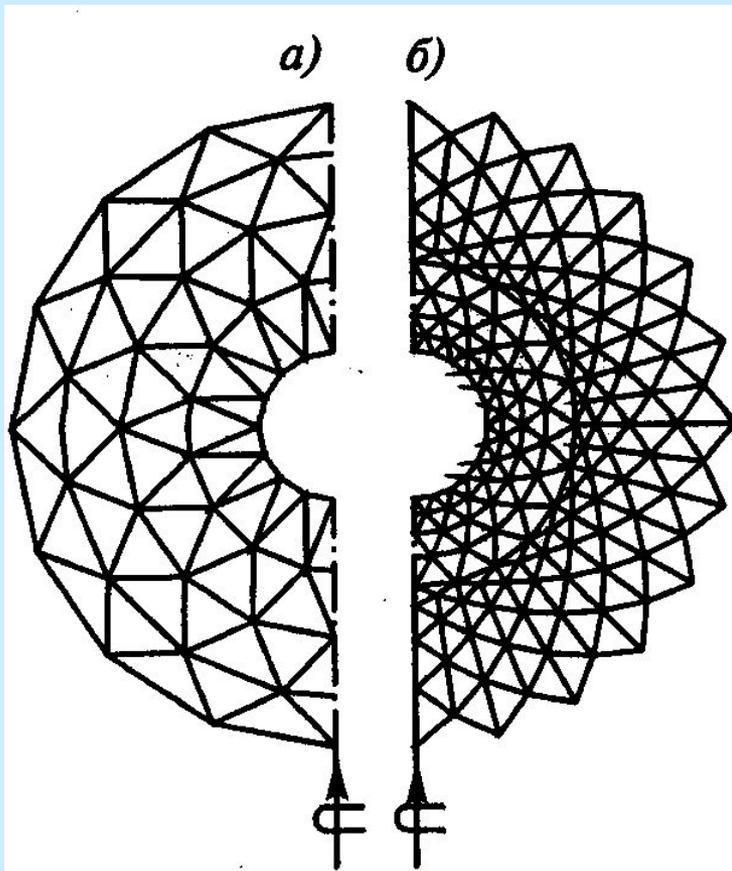


Рис. 3.20. Звездчатая система купола

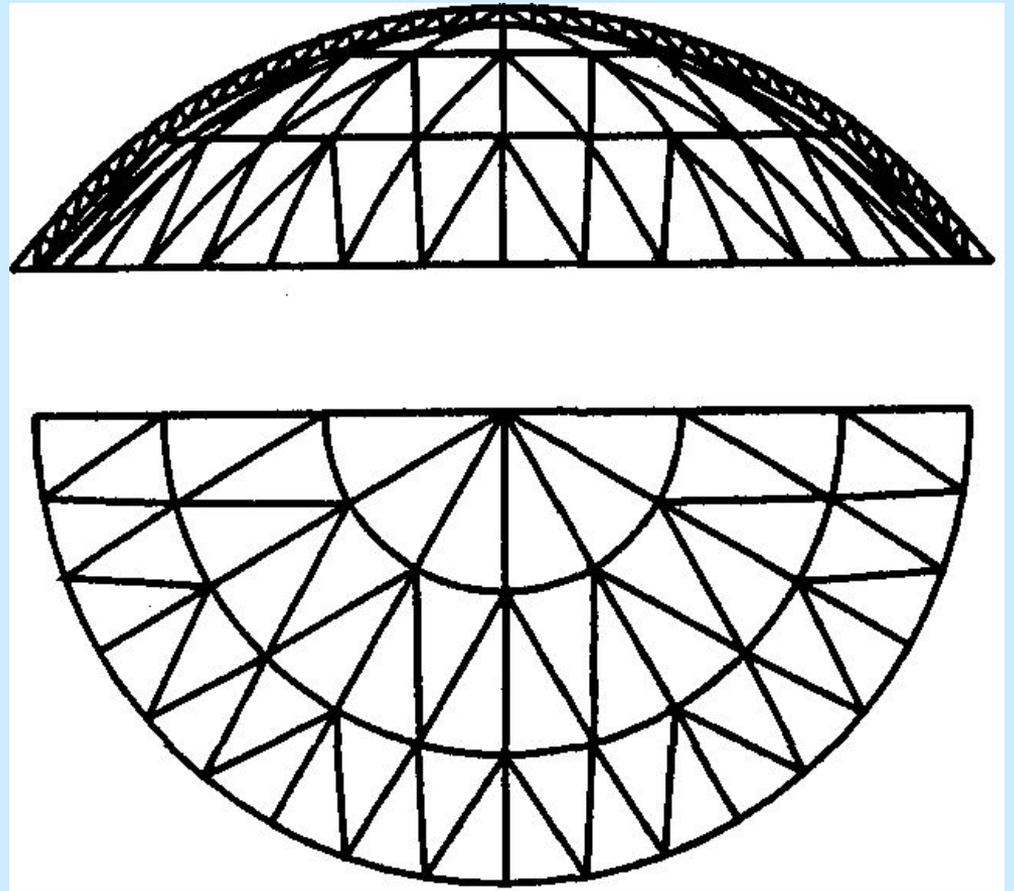


Рис. 3.21. Система Кайвитта

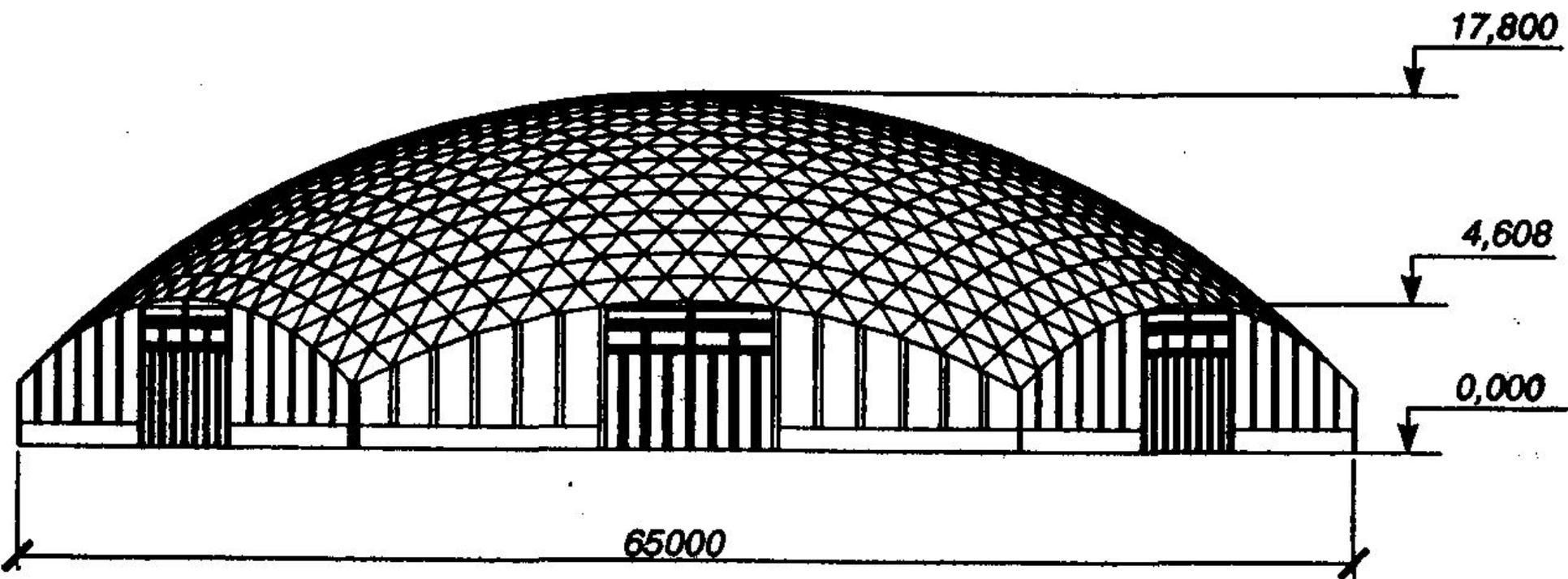


Рис. 3.22. Сетчатый купол



**Рис. 3.23. Театр-музей Сальвадора Дали в Фигейрасе (сферический купол)**

### 3.5. Особенности проектирования, изготовления и монтажа

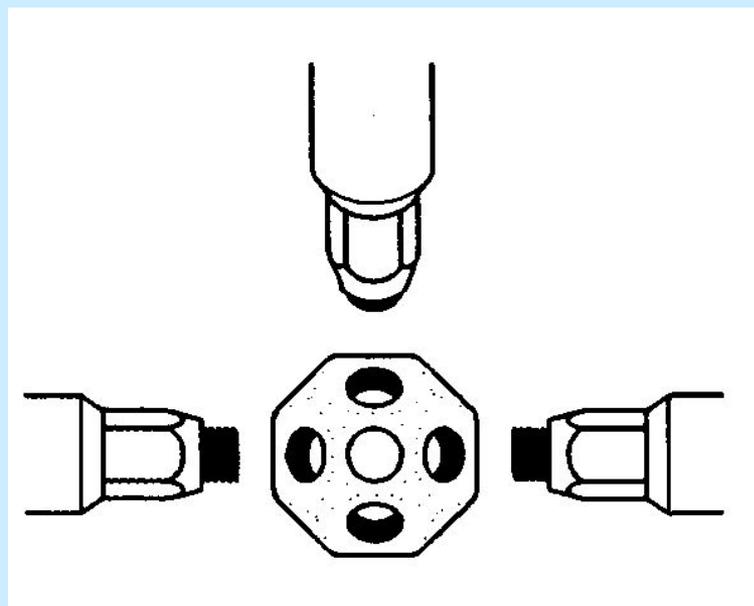
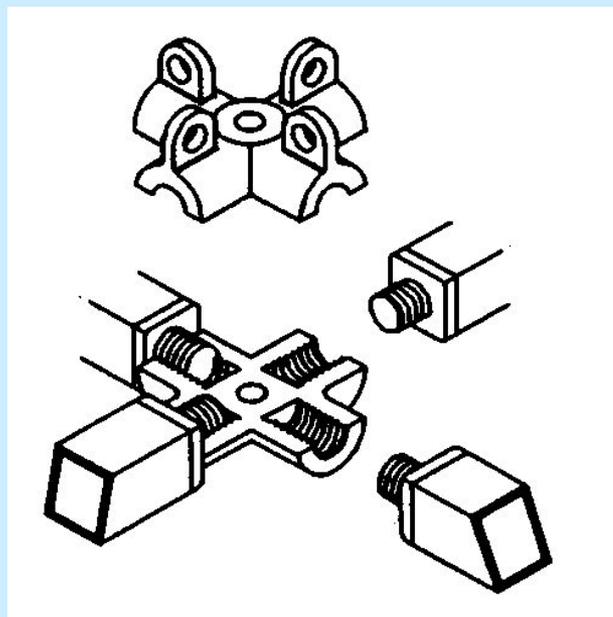
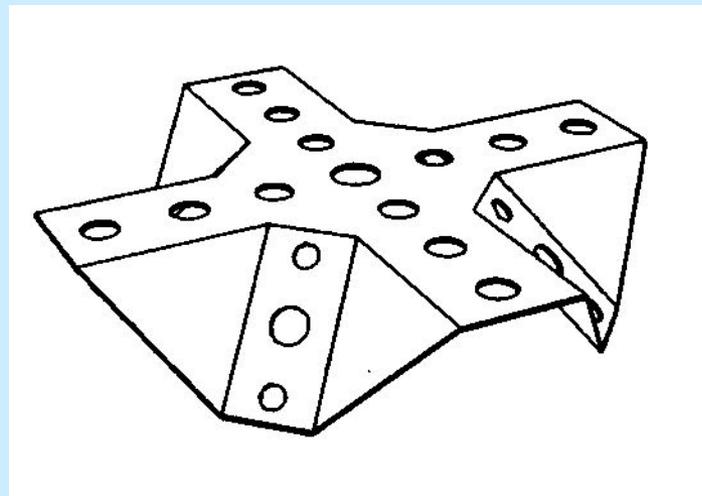
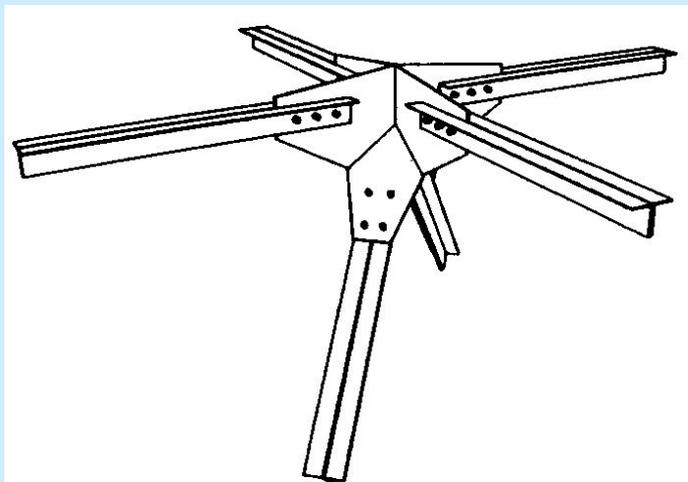


Рис. 3.24. Схемы узлов пространственных конструкций: а) плоские узлы; б) узлы из гнутых пластин; в) литые узлы; г) сферические точеные узлы