

# КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

---



## § 3.4. Ребристо-кольцевые купола

В ребристо-кольцевых сферах купольных покрытий и обычно работу каркаса купола включают непрерывные кольцевые прогоны, которые пересекают меридианные ребра и работают не только на местный изгиб, но и воспринимают разрывные усилия. Кольцевые прогоны, являясь пружинящими элементами, сферами такого купола в плоскости кольцевых прогонов не имеют свободных горизонтальных перемещений. Высота кольцевых сечений ребер благодаря участию в общей работе купола кольцевых прогонов уменьшается до  $1/100—1/150$  диаметра купола. Ребра с кольцевыми прогонами соединяются, как правило, шарнирно. Кольцевые прогоны и ребра чаще всего делают из стали или из клееной древесины, но могут быть и из асбестоцемента. При диаметре купола 90—100 м высота поперечного сечения ребер составляет 30—50 см.

Верхние и нижние кольца, а также связи (по верхнему поясу ребер) и поперечные (пертикальные) связи между ребрами устраивают как и в ребристых куполах. Внешний вид ребристо-кольцевого купола аналогичен ребристому куполу.

При осесимметричной нагрузке расчет купола можно вести, рассматривая его на широкие арки с удлиненными затяжками-кольцами (рис. IX.32, б), каждая из которых кольцевато воспринимает приходящую на ее долю нагрузку, так как силы взаимодействия между арками в этом случае нулевы. Площадь сечения удлиненных затяжек определяется по формуле

$$F_2 = \frac{2\sigma F_1 F_{11}}{\sigma F_2},$$

где

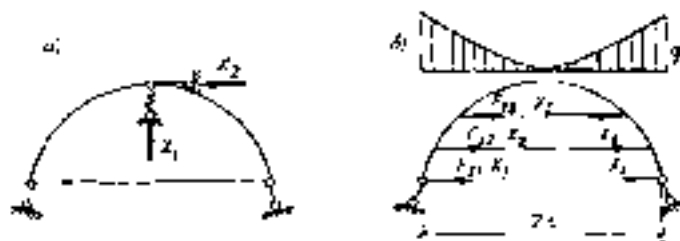


Рис. IX.32 Расчетные схемы зон ребристой (а) и ребристо-кольцевой (б) купола

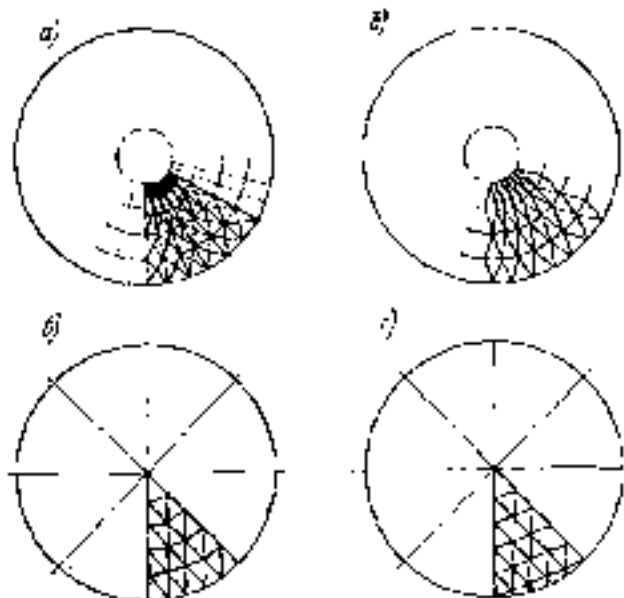


Рис. IX 33. Стресс-линии в куполе

а — без учета влияния на сдвиги; б — с учетом влияния на сдвиги; в — с учетом влияния на сдвиги; д — с учетом влияния на сдвиги

где  $\lambda$  — жесткость ребра и купола;  $F_1$ ,  $E_1$  — площадь и модуль упругости оболочки;  $F_2$ ,  $E_2$  — площадь и модуль упругости усиленной обшивки.

Неизвестные усилия в лагевках проще всего вычислять методом сил, решая систему с количеством неизвестных, равным числу усиленных лагевок. При несимметричных нагрузках купол рассчитывают так же, как и ребристый.

Следующей конструктивной схемой купола, который предусмотрен увеличением связности системы, является ребристый кольцевой купол с радиальными связями (рис. IX 33 а), устанавливаемыми в каждой четырехугольной ячейке ребристо-конического купола. Двухматериальные связи участвуют в общей работе купола, что приводит к уменьшению усилий в ребрах и кольцах. Именно по такой конструктивной схеме чаще всего проектируют

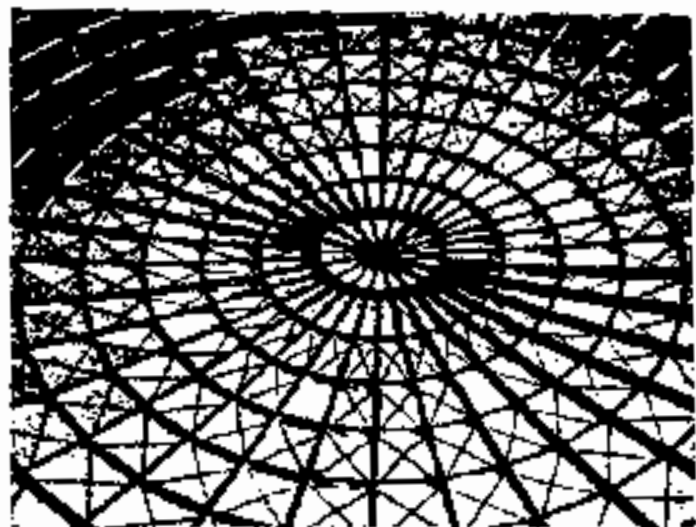


Рис. 1X31. Ребра и ребристая часть купола в решетчатой системе с диаметром 92,5 м

купола большого диаметра (около 100 м) — например, купол диаметром 92,5 м над крытым стадионом в г. Брайе-но (США), купол над спортивными сооружениями диаметром 63 м в г. Ньюкасле и 67 м в г. Перте (Великобритания) и т. д. Общий вид купола такой системы представлен на рис. 1X34.

Анализ усилий в ребристо-кольцевом куполе с шарнирным присоединением колец к меридиональным ребрам и с жестким соединением (размер  $l$  — угол), а также в ребристо-кольцевом куполе со связями по всей поверхности показал, что при осесимметричных нагрузках усилия по всем перечисленным куполам практически одинаковы. Однако при несимметричных нагрузках значения усилий в ребристо-кольцевом куполе со связями значительно меньше, чем в ребристо-дольцевом. В рамках купола изгибающие моменты в ребрах примерно на 15% меньше, чем в ребристо-кольцевом с шарнирным присоединением колец к ребрам.

### § 3.5. Сеткиые купола

Сеткиые купола — это многогранники, имеющие чаще всего в сферическую поверхность вращения. Сетка обычно образуется из треугольников, квадратов, ромбов, пятиугольников, шестиугольников и других фигур. Стержни решетки в узлах сетчатых куполов соединяются шарнирно. Сеткиый купол является распорной системой, который поддерживается нижним опорным кольцом. В последнее время при проектировании арочных куполов большого диаметра (до 207 м) сетчатые лампы получают широкое распространение. Они отличаются легкостью, четкостью и декоративностью рисунка конструктивных элементов.

Наиболее часто применяют купола с треугольной ячейкой и ее разновидности. Претотипичны: этот класс куполов ребристо-облачные купола с решетчатыми сваями. Различают два метода построения сетчатых поверхностей. Для сравнительно небольших куполов характерен первый метод, основанный на использовании плоской сетки для отбора из односторонних пространственных векторов поверхности с последующим проецированием этой сетки на криволинейную поверхность купола. К таким сеткам сетчатых куполов относятся: 1) ребристо-облачная со сваями (купол Шведлера) (рис. IX.33, а), 2) антиматрикс схема (купол Феникса) (рис. IX.33, б), 3) схема Чиньятта (рис. IX.33, в); 4) схема ромба (рис. IX.33, г).

Второй метод построения сетчатых поверхностей наиболее выгоден для сетей куполов сферической купола и основан на последовательном делении шара или сферы правильных многогранников — додекаэдра (двенадцатигранник) и икосэдра (двадцатигранник). Элементарные треугольные после деления сферы могут быть объединены в ромбы, шести-, пятиугольные, шестиугольные панели.

Этот метод построения сетчатых поверхностей широко используют в пластмассовых, клефанельных и деревянных куполах, собираемых из панелей или краевых элементов.

Пластмассовые купола с такой разрядкой из плоских стеклопластиковых панелей диаметром 6-8 м применяют для жилых домов, пятидесятиметровых учебных сферических оболочек — для безметаллового укрытия

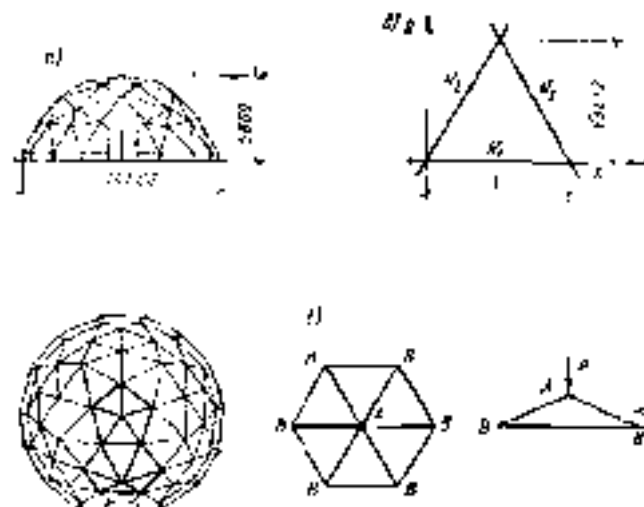


Рис. 18.35 Многогранный сферический купол

$h$  — высота купола;  $D$  — диаметр купола;  $N_1, N_2, N_3$  — внутренние усилия в сферических ребрах сферического купола;  $l$  — длина ребра многогранного сферического купола

визитки радиотелескопов. Пример многогранного купола из клеенофанерных или стеклопластиковых листов, образующих пяти- и шестигранные грани, — купол, показанный на рис. 18.35, а.

Клееный деревянный сетчатый купол покрытия стадиона в г. Флагстафф (США) имеет диаметр 153 м и высоту купола 29,2 м. Сетка купола в форме треугольных ячеек со сторонами от 18,9 до 10,7 м выполнена из криволинейных деревянных элементов, соединенных между собой стальными болтами и фанерками. Купол поддерживается железобетонным кольцом, опирающимся на 36 колонн. Купол из стекловолокна на битумной мастике выполняется на деревянном настиле из шпунтованных досок толщиной 25 мм, уложенных по деревянным прогонам с шагом 2,4 м. Снизу к доскам подстилается утеплитель из стекловолокнистых плит толщиной 70 мм.

Сетчатые купола рассчитывают по безмоментной теории как сферические осесимметричные оболочки (см. § 3.2). Увелича в сферических куполах определяем умножением меридиональных  $T_1$  и кольцевых  $T_2$  усилий вз со-

ните постоянные расстояния между стержнями в расчетных сечениях купола, и проецирование этих углов на направление стержней (рис. IX.35, б). При выборе в виде расчетного угла стержня угла в сферическом

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= (1,2 \sqrt{3}) (\sigma_2 - \tau_2); \\ \alpha_1 &= (1,2 \sqrt{3}) (\tau_1 - \sqrt{3} \sigma_1); \\ \alpha_3 &= (1,2 \sqrt{3}) (\tau_2 - \sqrt{3} \sigma_2). \end{aligned}$$

Кроме осевых усилий  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  в стержнях могут возникатьгибающие моменты от местной нагрузки, которую необходимо учитывать при расчете стержней на внецентренное сжатие.

Местная потеря устойчивости сетчатого купола состоит в повороте приращивания угла к центру сферы (рис. IX.35, в). Для расчета на местную устойчивость необходимо проверить на продольный изгиб стержень угла при расчетной длине, равной

$$l_0 = \left( \frac{1}{\alpha_2} \sqrt{1 + \alpha_2^2} \right) l,$$

где  $r_0$  — радиус инерции сечения стержня;  $l$  — длина стержня;  $k$  — величина продольной деформации угла вращением, происходящим в нем вследствие углов.

Чтобы избежать общей потери устойчивости сетчатой оболочки необходимо, чтобы расчетное радиальное давление на сферический купол не превышало критического

$$p_{кр} = 1,6 \frac{E t r_0}{l^2},$$

где  $E$ ,  $t$ ,  $r_0$ ,  $l$  — модуль упругости, площадь, радиус инерции и длина стержня,  $r$  — радиус сферы.