

КУПОЛА

Основные положения

Купол представляет собой пространственную железобетонную конструкцию в виде выпуклой оболочки круглого, эллиптического или многоугольного очертания в плане.

Элементами куполов служат, как правило, осесимметричная оболочка вращения и растянутое опорное кольцо. При наличии фонарного проема в вершине купола устраивается сжатое фонарное кольцо, а также проемы и отверстия, расположенные на боковых участках купола.

Срединную поверхность оболочки рекомендуется принимать в виде поверхности вращения: конуса, сферы, параболоида, эллипсоида и др. (рис. 10.1). Кроме того, оболочка может быть образована волнистыми и складчатыми элементами или выполняться сетчатой и многогранной.

Купола проектируют в виде пологих или подъемистых тонкостенных оболочек. Подъем куполов рекомендуется принимать не менее 1/10 диаметра опорного контура оболочки.

Опорное кольцо может лежать на сплошном образованном стенами основании или на отдельных колоннах.

Купольные покрытия проектируют монолитными, сборно-монолитными или сборными. Монолитные купола рекомендуется предусматривать гладкими, а сборные - из ребристых цилиндрических или плоских панелей.

При проектировании куполов следует учитывать общие указания разделов по расчету и конструированию пространственных железобетонных конструкций.

Рекомендации по расчету

Расчет куполов следует производить по двум группам предельных состояний, при этом усилия в элементах куполов допускается определять методами теории упругости.

Расчет купола с оболочкой с вертикальной осью вращения допускается производить по безмоментной теории с наложением усилий краевого эффекта при следующих условиях:

- а) плавных изменениях толщины стенок купола и радиуса кривизны меридиана и равномерных симметричных нагрузках, действующих на оболочку;
- б) свободных радиальных и угловых перемещениях краев оболочки в направлении меридиональных усилий по касательной к меридиану.

В остальных случаях напряженно-деформированное состояние купола следует определять с учетом действия изгибающих моментов.

Определение усилий по безмоментной теории

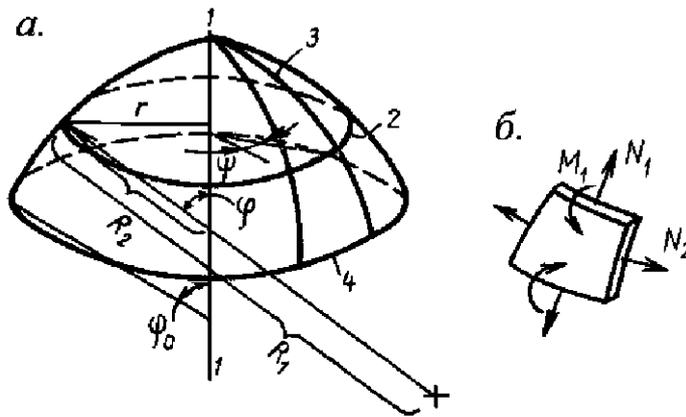
При симметричной нагрузке в стенке купола действуют нормальные меридиональные N_1 и кольцевые N_2 усилия (рис. 10.1).

Усилие на единицу длины меридиана N_1 определяют из условия равновесия сегмента, отсеченного от купола конической поверхностью с углом раствора φ :

$$N_1 = -\frac{V_\varphi}{2\pi R_2 \sin^2 \varphi}, \quad (10.1)$$

где V_φ - вертикальная равнодействующая внешней нагрузки на часть оболочки выше рассматриваемого сечения;

R_2 - радиус кривизны нормального сечения, перпендикулярного к меридиану в данной точке (длина нормали поверхности до оси вращения).



а — геометрия; *б* — схема усилий;
 1 — ось вращения; 2 — параллель; 3 — меридиан; 4 — краевой параллельный круг.

Рисунок 10.1. Оболочка вращения

Распор купола H определяют как горизонтальную проекцию N_1 :

$$H = -\frac{V_{\varphi_0}}{2\pi R_2 \sin \varphi_0 \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (10.2)$$

где φ_0 — 1/2 центрального угла дуги оболочки в меридиональном направлении.
 Растягивающее усилие N_0 в кольце определяют по формуле:

$$N_0 = \frac{V_{\varphi_0}}{2\pi \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (10.3)$$

Усилие N_0 должно быть воспринято кольцевой арматурой.

Кольцевое усилие N_{sk} в фонарном кольце определяют по формуле:

$$N_{sk} = -p R_{2sk} \cos \varphi_{sk}, \quad (10.4)$$

где p — нагрузка на 1 м фонарного кольца.

Индексы «0» и «sk» в формулах 10.2 - 10.4 указывают на то, что все переменные величины, входящие в эти формулы, относятся соответственно к широте опорного и фонарного кольца оболочки.

Величину кольцевого усилия N_2 определяют по формуле:

$$N_2 = -R_2 \left(z + \frac{N_1}{R_1} \right) \quad (10.5)$$

где z — нормальная к поверхности купола в рассматриваемом сечении составляющая внешней нагрузки на единицу площади поверхности.

Для сферической оболочки при $R_1 = R_2 = R$

$$N_1 = N_2 = z R; \quad (10.6)$$

$$V_\varphi = 2\pi R^2 \int_0^\varphi p_z \sin \varphi d\varphi, \quad (10.7)$$

здесь p_z — вертикальная составляющая внешней нагрузки.
Для конической оболочки $R_1 = \infty$; $\varphi = \alpha = \text{const}$.

При одностороннем нагружении купола нагрузкой q ее распределение по поверхности z допускается определять по формуле:

$$z = 0,7 q (1 + \sin \varphi \sin \psi), \quad (10.8)$$

где q — нагрузка на единицу площади горизонтальной проекции;
 p — половина центрального угла в меридиональном направлении;
 ψ — центральный угол в кольцевом направлении.
Нормальные усилия N_1 , N_2 и сдвигающие усилия S определяют по формулам:

$$N_1 = 0,7 q R \left[\frac{1}{2} + \frac{\cos \varphi}{3 \sin^3 \varphi} (2 + \cos \varphi)(1 - \cos \varphi)^2 \sin \psi \right]; \quad (10.9)$$

$$N_2 = 0,7 q R \cdot \left\{ \frac{1}{2} + \left[\sin \varphi - \frac{\cos \varphi}{3 \sin^3 \varphi} (2 + \cos \varphi)(1 - \cos \varphi)^2 \right] \sin \psi \right\} \quad (10.10)$$

$$S = -\frac{0,7 q R}{3} \cdot \frac{(2 + \cos \varphi)(1 - \cos \varphi)^2}{\sin^3 \varphi} \cos \psi \quad (10.11)$$

Краевые изгибающие моменты M_b и распор купола H_b вблизи кольца рекомендуется определять методом сил. Система канонических уравнений, выражающих совместность угловых и линейных перемещений купола и опорного кольца по линии их контакта, имеет вид:

$$\begin{aligned} a_{11} M_0 - a_{12} H_0 - a_{10} &= 0; \\ a_{21} M_0 - a_{22} H_0 - a_{20} &= 0, \end{aligned} \quad (10.12)$$

где a_{11} — взаимный угол поворота от действия $M_b = 1$ в направлении этого момента в сечении вблизи кольца;

a_{12} — то же, от действия $H_0 = 1$ в направлении момента;

a_{21} — взаимное перемещение от действия $M_0 = 1$ в направлении H_0 ;

$a_{12} = a_{21}$ в силу взаимности перемещений;

a_{22} — взаимное перемещение от $H_0 = 1$ в направлении H_0 ;

a_{10} — взаимный угол поворота в том же сечении, вызванный внешней нагрузкой; a_{20} — взаимное перемещение, вызванное внешней нагрузкой, при совпадении с направлением H считается положительным.

Если углы a_{12} и a_{10} совпадают по направлению с углом поворота a_{11} , вызванным действием $M_0 = 1$, то их принимают со знаком «плюс», если не совпадают — со знаком «минус». Такое же правило знаков принимается и для линейных перемещений. Перемещения a_{11} и a_{22} всегда положительны.

Перемещения сферической оболочки a_{10} и a_{20} определяют по формулам

а) при нагрузке от собственного веса

$$a_{10} = \frac{q A^4}{2R} \sin \varphi; \quad (10.13)$$

$$a_{20} = \frac{q A^4}{4R} \left(\cos \varphi - \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right) \sin \varphi_0; \quad (10.14)$$

б) при равномерно распределенной нагрузке p_0 на горизонтальную проекцию (по поверхности оболочки распределяется по закону косинуса $p = p_0 \cos \varphi$

$$a_{10} = \frac{3}{8} \cdot \frac{p_0 A^4}{R} \sin 2\varphi_0; \quad (10.15)$$

$$a_{20} = \frac{p_0 A^4}{8} \sin \varphi_0 \cos 2\varphi_0 \quad (10.16)$$

Значения величины коэффициента A определяется по формуле: для гладких куполов

$$A = 0,76 \sqrt{\delta R};$$

для ребристых куполов

$$A = \sqrt[4]{I_n R^2 / \delta_n},$$

здесь I_n - момент инерции, приходящийся на единицу длины, с учетом меридиональных ребер;

δ_n - приведенная толщина оболочки с учетом сечения кольцевых ребер.

Определение краевого эффекта по приближенной моментной теории

При воздействии распора H_0 в опорном кольце возникают моменты $H_0 e$ (см. рис. 10.2), вызывающие поворот кольца на угол θ_k , который определяют по формуле:

$$\theta_k = \frac{12 R_0^2}{E b_k h_k^3} H_0 e \quad (10.17)$$

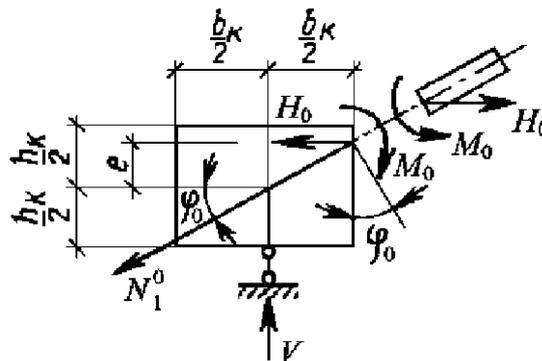


Рисунок 10.2. Расчетная схема узла сопряжения опорного кольца и оболочки купола

Перемещения края оболочки, вызванные радиальным распором H_0 , приведены на рис. 10.3.

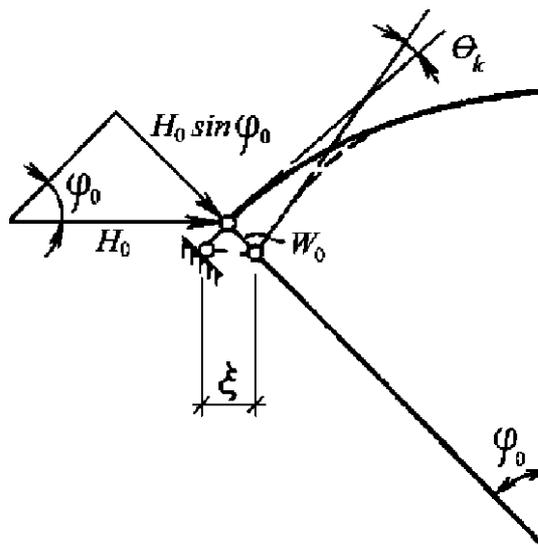


Рисунок 10.3. Перемещения края оболочки, вызванные радиальным распором H_0

Коэффициенты уравнения метода сил a_{11} , a_{12} , a_{22} , т. е. перемещения краев любых непологих оболочек от действия $M_0=1$ и $H_0=1$ (рис. 10.4) определяют на основе моментной теории по следующим формулам:

$$a_{11} = \frac{A}{D} + \frac{12R_0^2}{Eb_k h_k^3}; \quad (10.18)$$

$$a_{12} = \frac{A^2}{2D} \sin \varphi_0 - \frac{12R_0^2}{Eb_k h_k^3} e; \quad (10.19)$$

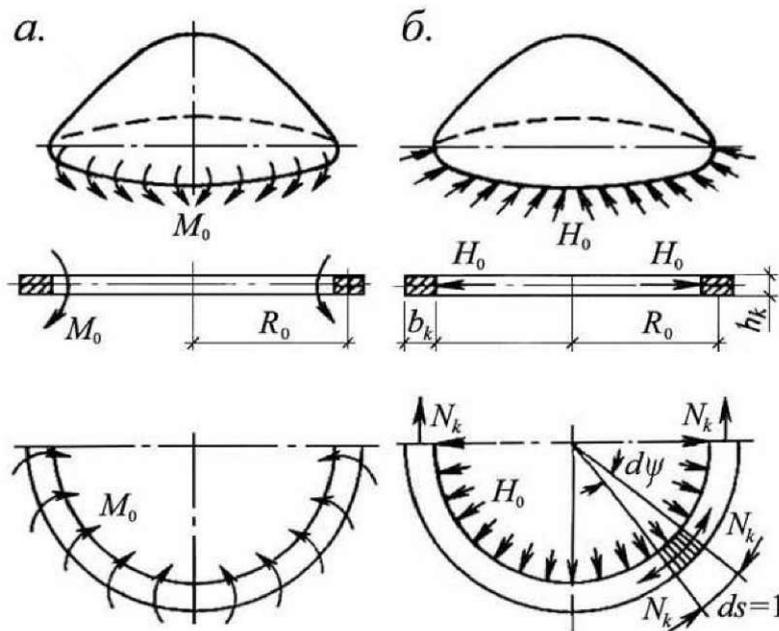
$$a_{22} = \frac{A^3}{2D} \sin^2 \varphi_0 + \frac{R_0^2}{EF_k} + \frac{12R_0^2}{Eb_k h_k^3} e^2 \quad (10.20)$$

здесь D - изгибная жесткость меридиональной полосы единичной ширины купола.

В формулах (10.17) - (10.20) значение модуля упругости E принимается сниженным с учётом положения нормативных документов.

Значения M_0 и H_0 находят из решения уравнений (10.12) с учетом зависимостей (10.18) - (10.20).

Интенсивности моментов $M(\lambda)$ и кольцевых усилий $N_2(\lambda)$ в произвольной точке по длине меридиана оболочки в зависимости от краевых значений моментов M_0 и H_0 определяют по формулам, полученным на основе теории балки на упругом основании:



a — момент; b — распор

Рисунок 10.4. Момент и распор при взаимодействии оболочки и опорного кольца купола

$$M(\lambda) = -M_0 (\cos \lambda + \sin \lambda) e^{-\lambda} - A H_0 \sin \varphi_0 \sin \lambda e^{-\lambda}; \quad (10.21)$$

$$N_2(\lambda) = N_2 + \frac{2R}{A^2} M_0 e^{-\lambda} (\sin \lambda - \cos \lambda) - \frac{2R}{A} H_0 \sin \varphi_0 e^{-\lambda} \cos \lambda, \quad (10.22)$$

здесь N_2 - кольцевое усилие в безмоментной оболочке; $e^{-\lambda} \cos \lambda$ и $e^{-\lambda} \sin \lambda$ - функции, значения которых приведены в табл. 10.1 Величину λ определяют по формуле

$$\lambda = S/A$$

Отсчет длины дуги S или величины λ следует производить от края, к которому приложены M_0 и H_0 .

Таблица 10.1

λ	$e^{-\lambda} \cos \lambda$	$e^{-\lambda} \sin \lambda$	λ	$e^{-\lambda} \cos \lambda$	$e^{-\lambda} \sin \lambda$
0	1	0	1,6	-0,0059	0,2018
0,1	0,9004	0,0903	1,7	-0,0236	0,1812
0,2	0,8024	0,1627	1,8	-0,0376	0,161
0,3	0,7078	0,2189	1,9	-0,0484	0,1415
0,4	0,6174	0,261	2	-0,0564	0,1231
0,5	0,5323	0,2908	2,1	-0,0618	0,1057
0,6	0,453	0,3099	2,2	-0,0652	0,0896
0,7	0,3798	0,3199	2,3	-0,0668	0,0748
0,8	0,313	0,3223	2,4	-0,0669	0,0613
0,9	0,2528	0,3185	2,5	-0,0658	0,0491
1	0,1988	0,3096	2,6	-0,0636	0,0383
1,1	0,151	0,267	2,7	-0,0608	0,0287
1,2	0,1092	0,2807	2,8	-0,0573	0,0204
1,3	0,0729	0,2626	2,9	-0,0535	0,0133
1,4	0,0419	0,2430	3	-0,0493	0,00703
1,5	0,0158	0,2226			

Расчет несущей способности куполов методом предельного равновесия

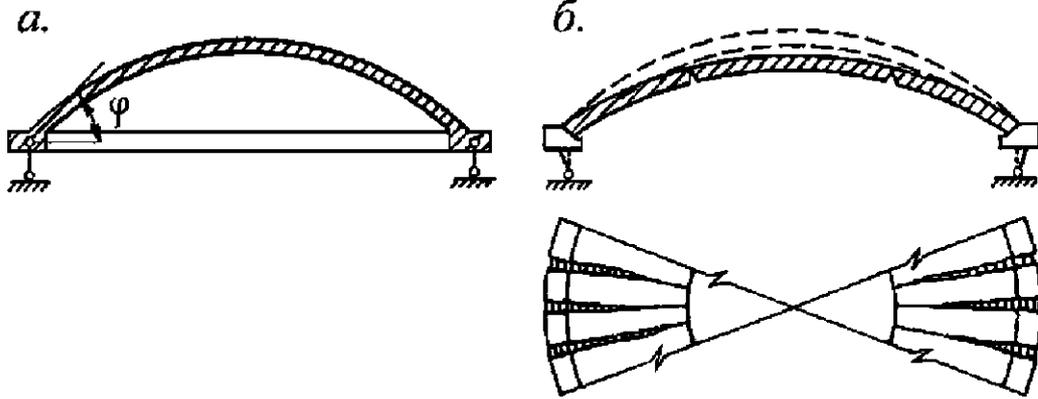
Расчет несущей способности железобетонных куполов кинематическим способом метода предельного равновесия рекомендуется производить аналогично методу предельного равновесия при условии, что:

- осесимметричная нагрузка интенсивностью q равномерно распределена по горизонтальной проекции купола;
- форма купола — сферическая;
- отношение диаметра контура к стреле подъема не превышает 10;
- арматура состоит из меридиональных и кольцевых стержней, образующих верхнюю и нижнюю сетки;
- оболочка вращения опирается по всему периметру (если опорное кольцо опирается в отдельных точках, в нем должна быть уложена дополнительная арматура, необходимая для восприятия вертикальных составляющих усилий на контуре);
- исчерпание несущей способности купола происходит вследствие текучести арматуры.

Схему разрушения купола принимают в виде системы сквозных меридиональных трещин, начинающихся у растянутого контура и соединенных по концам раскрывающимися вниз кольцевыми пластическими шарнирами (рис. 10.5). При равномерно распределенной по горизонтальной проекции нагрузке принимается, что поверхность купола сферическая, с центральным углом, не превышающим 90° , либо она образована вращением квадратной или кубической параболы, а также гиперболы и цепной линии. Для сферических куполов в рассматриваемых условиях при $r_0 / \delta < 400$ область реализации данной схемы излома может быть принята для значений $2r_0 / f > 3,5$ (r_0 — радиус опорного кольца).

Для сферических куполов-оболочек при постоянных предельных моменты и усилия в кольцевых стержнях стенки, приходящихся на единицу длины меридиана для значений $3,5 < 2r_0 / f < 10$ и $n r_0$

$/m < 800$, интенсивность равномерно распределенной по горизонтальной проекции купола нагрузки



a — поперечное сечение; *б* — схема разрушения.

Рисунок 10.5. К расчету купола методом предельного равновесия

определяют из зависимости:

$$\frac{q r_0^3}{6f} = \frac{\eta m}{r_0} + k n_c, \quad (10.23)$$

где η — безразмерный коэффициент, зависящий от пологости $2r_0/f$ и отношения nr_0/m ;

k — безразмерный коэффициент, зависящий от пологости $2r_0/f$.

n_c — предельное усилие в опорном кольце;

m — момент (на единицу длины) предельных усилий в меридиональной арматуре относительно оси 0—0 (рис. 10.6), проходящей через центр тяжести сжатой зоны бетона, определяемый по формуле:

$$m = R_s A_{s,mb} \left(h_0 - \frac{x}{2} \right), \quad (10.24)$$

здесь $A_{s,mb}$ — площадь сечения меридиональной арматуры нижней сетки на единицу длины кольцевого направления;

h_0 — рабочая высота сечения;

x — высота сжатой зоны бетона, определяемая последовательным приближением.

Предельное усилие на единицу длины в кольцевых стержнях поля оболочки n определяется по формуле

$$n = R_s (A_{s,cb} + A_{s,cu}) = q_s + q'_s, \quad (10.25)$$

здесь $A_{s,cb}$ и $A_{s,cu}$ — площадь сечения кольцевой арматуры соответственно нижней и верхней сеток на единицу длины радиального направления.

Предельное усилие в опорном кольце n_c определяется по формуле

$$n_c = R_s A_{s,co} \quad (10.26)$$

где $A_{s,co}$ — площадь сечения кольцевых стержней опорного кольца.

Значения коэффициентов η и k принимают по графикам на рис. 10.7, при этом для значений $3,5 < 2r_b/f < 5$ следует соблюдать условие $r_b/\delta < 400$.

Зависимость (10.23) используют и при проверке прочности нормальных сечений опорного кольца купола.

Для предотвращения преждевременного разрушения бетона в сжатой зоне кольцевого пластического шарнира до достижения в растянутой арматуре ее расчетного сопротивления R_s следует выполнять условие:

$$\xi = \frac{x}{h_0} \leq 0,6 \xi_R, \quad (10.27)$$

где ξ - относительная высота сжатой зоны бетона;

ξ_R — граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона, определяемое по указаниям СП 63.13330.

Требуемую для определения высоты сжатой зоны бетона x величину нормальной силы N (рис. 10.6) находят по формуле:

$$N = \frac{qr^2}{2} \sin \alpha + [n_c + nr_s (\varphi - \alpha)] \cos \alpha, \quad (10.28)$$

где r — радиус пластического шарнира, определяемый по формуле $p = r/r_0$; r_s — радиус сферы; α — угол наклона силы N ;

φ — угол наклона касательной к меридиану на опоре.

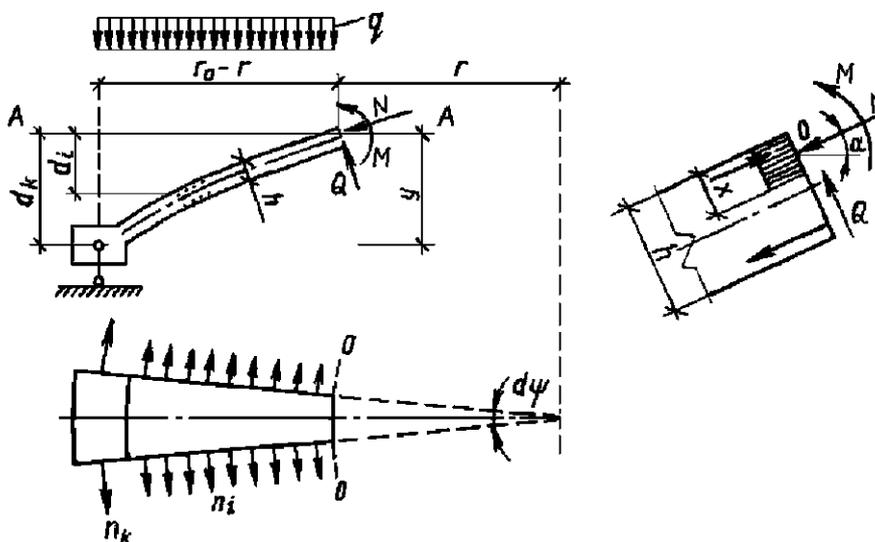


Рисунок 10.6. Схема взаимодействия усилий в куполе в предельном состоянии

Значения ρ принимают по графикам на рис. 10.7, при этом для значений $2 r_0 / f = 3,5$ ρ следует определять с учетом отношения n_c / n .

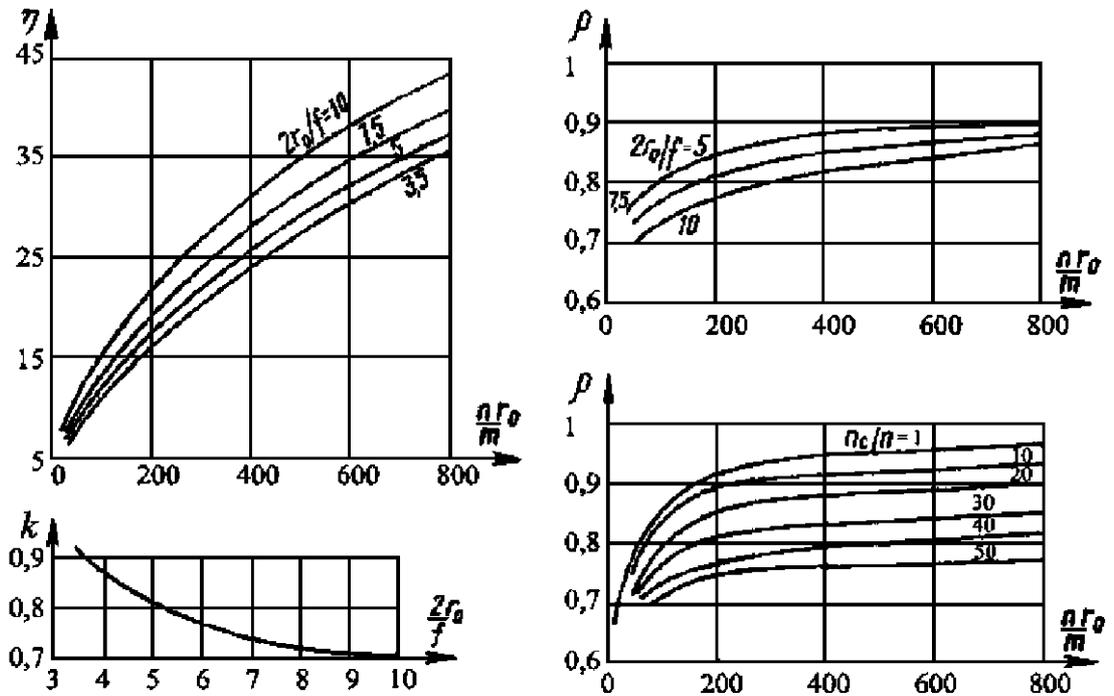


Рисунок 10.7. Графики для определения коэффициентов q , k , ρ
 Приближенный расчет несущей способности купола

Для свободно опертых по контуру сферических оболочек вращения с меридионально-кольцевой схемой разрушения расчет производят из условия равновесия рассматриваемой части оболочки (рис. 10.8). При этом работой внутренних сил в кольцевом пластическом шарнире допускается пренебречь.

Значение угловой координаты ξ_c , ограничивающей сжатую зону бетона определяют по формуле:

$$\xi_c = \frac{A_{s,c0} R_s + q_s \xi_0 R}{BR}, \quad (10.29)$$

где $B = R_b h_0 + q_s + q'_s$;

$A_{s,c0}$ - площадь сечения всех кольцевых стержней опорного кольца;

R - радиус кривизны срединной поверхности купола;

ξ_0 - угловая координата края купола;

R_b - призмная прочность бетона;

q_s, q'_s - погонные усилия, воспринимаемые кольцевой арматурой купола соответственно в растянутой и сжатой зонах рассматриваемого сечения купола; h_0 - рабочая высота сечения стенки купола.

Из равенства моментов внешних и внутренних сил после интегрирования:

$$\sin \xi_c - k_e \xi_c - m = 0 \quad (10.30)$$

где $k_e = e_{c0} / R$;

$$m = \frac{0.5M + q_s R^2 \sin \xi_0 + q_s \xi_0 R e_{c0}}{BR^2};$$

e_{c0} - расстояние от центра тяжести рабочей арматуры кольца до центра окружности O ; M - момент внешних сил относительно оси, проходящей через центр окружности O .

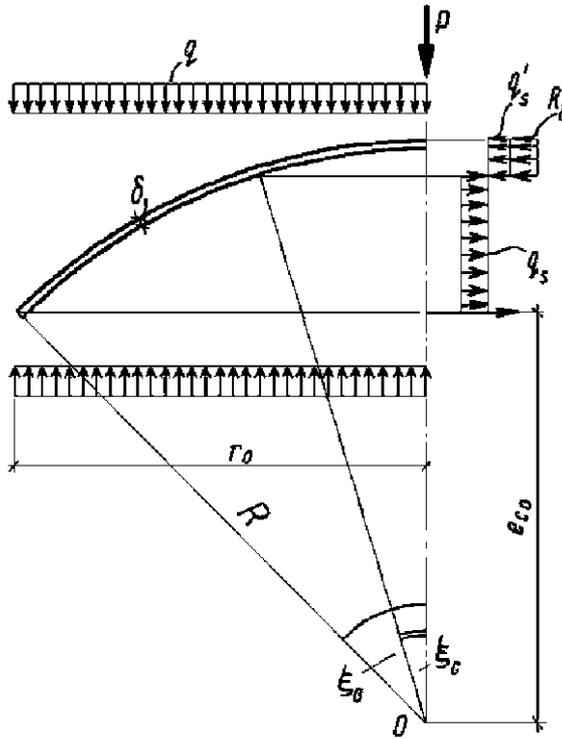


Рисунок 10.8. К расчету купола по «балочной» схеме.

Величину суммарной внешней нагрузки P (рис. 10.8) определяют по формуле:

$$P = \frac{\pi M}{k r_0}, \quad (10.31)$$

где k - коэффициент, зависящий от вида опирания и характера внешней нагрузки ($0 < k < 1$);

r_0 - радиус основания купола.

Формулы для определения k для характерных случаев опирания и различных видов (нагружения приведены в табл. 10.2.)

Таблица 10.2

Вид нагрузки	Вид опирания				
	на 3 точки	на 4 точки	на 5 точек	на 6 точек	по всей контуру
Равномерно распределенная по всей поверхности	$\frac{\pi}{3} - \frac{2}{3}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - \frac{2}{3}$	$\frac{(1+2\sin 18^\circ)\pi}{5} - \frac{2}{3}$	$\frac{\pi}{3} - \frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$
Кольцевая, распределенная по радиусу x	$\frac{\pi}{3} - \frac{x}{r_0}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - \frac{x}{r_0}$	$\frac{(1+2\sin 18^\circ)\pi}{5} - \frac{x}{r_0}$	$\frac{\pi}{3} - \frac{x}{r_0}$	$1 - \frac{x}{r_0}$
Сосредоточенная в вершине оболочки	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\frac{(1+2\sin 18^\circ)\pi}{5}$	$\frac{\pi}{3}$	1
Собственная масса оболочки	$\frac{\pi}{3} - 2 + \frac{3\pi}{8}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} - 2 + \frac{\pi}{4}$	$\frac{(1+2\sin 18^\circ)\pi}{5} - 2 + \frac{3\pi}{8}$	$\frac{\pi}{3} - 2 + \frac{3\pi}{8}$	$\frac{3\pi}{8} - 1$

Расчет несущей способности купола с учетом деформированного состояния

В основе расчета купола лежит меридионально-кольцевая схема разрушения, представленная на рис.10.5.

Для удобства расчета срединную поверхность оболочки принимают в виде параболоида вращения, описываемого уравнением

$$z = \eta(x^2 + y^2),$$

Где

$$\eta = f / r_0^2;$$

здесь f - стрела подъема оболочки;

r_0 - радиус окружности ее основания.

Расстояние от оси оболочки до кольцевого пластического шарнира находят из условия равновесия:

$$l_1 = \frac{r_0 k_n}{(k+1)},$$

где

$$k_n = 1 + \frac{n}{q_s}; \quad n = A_{s,c0} R_s; \quad k = (R_b h_0 + q'_s) / q_s,$$

здесь $A_{s,c0}$ - площадь сечения кольцевых стержней опорного кольца;

R_s - их расчетное сопротивление на растяжение;

R_b - призматическая прочность бетона;

q_s и q'_s - погонные усилия, воспринимаемые кольцевой арматурой купола, соответственно в растянутой и сжатой зонах рассматриваемого сечения купола (рис. 10.8).

В начальной стадии деформирования несущую способность оболочки определяют по формуле

$$q_1 = 6[M^* + q_s f (b - 3aw^* / 2)] / ak^*, \quad (10.32)$$

$$M^* = mk_n + \eta f \left[\frac{(k+1)^2 - k_n^2}{(k+1)} - (k+1)w^* \right];$$

$$a = k + 1 - k_n;$$

$$b = \frac{(k+1)^3 + 2k_n^3 - 3k_n^2(k+1)}{(k+1)^2};$$

$$k^* = r^2 \left[1 + k_n / (k+1) + k_n^2 / (k+1)^2 \right];$$

здесь

w^* - относительный прогиб оболочки;

$$w^* = w'_0 t / f ;$$

m - погонное значение предельной величины изгибающего момента в верхнем кольцевом пластическом шарнире

$$q'_1 = \frac{6}{\alpha k^*} \left[M_1^* + q_s f \left(\frac{b}{3} - \frac{\alpha^2 k_n}{k+1} \right) \right] \quad (10.33)$$

$$m = R_s A_{s,mb} \left(h_0 - \frac{x}{2} \right),$$

где $A_{s,mb}$ - площадь сечения меридиональной арматуры нижней сетки на единицу длины кольцевого направления;

x - высота сжатой зоны сечения, определяемая с соблюдением условия (1b.27).

При расчете оболочки с опорным кольцом на равномерно распределенную нагрузку с разрушением по представленной на рис.10.5 схеме расчетное значение равномерно распределенной нагрузки рекомендуется определять по формуле (10.32) при значении критического прогиба:

$$w_{cr}^* = 2k_n \alpha / (k+1)^2$$

где

$$M_1^* = m k_n + \frac{n f}{k+1} \left[(k+1)^2 - k_n^2 - 2\alpha k_n \right].$$

Конструирование

На стадии предварительного проектирования толщину стенок гладких куполов рекомендуется принимать равной от 1/800 до 1/600 радиуса кривизны оболочки в вершине. Высоту ребер сборных куполов-оболочек определяют из условий изготовления, перевозки и монтажа элементов.

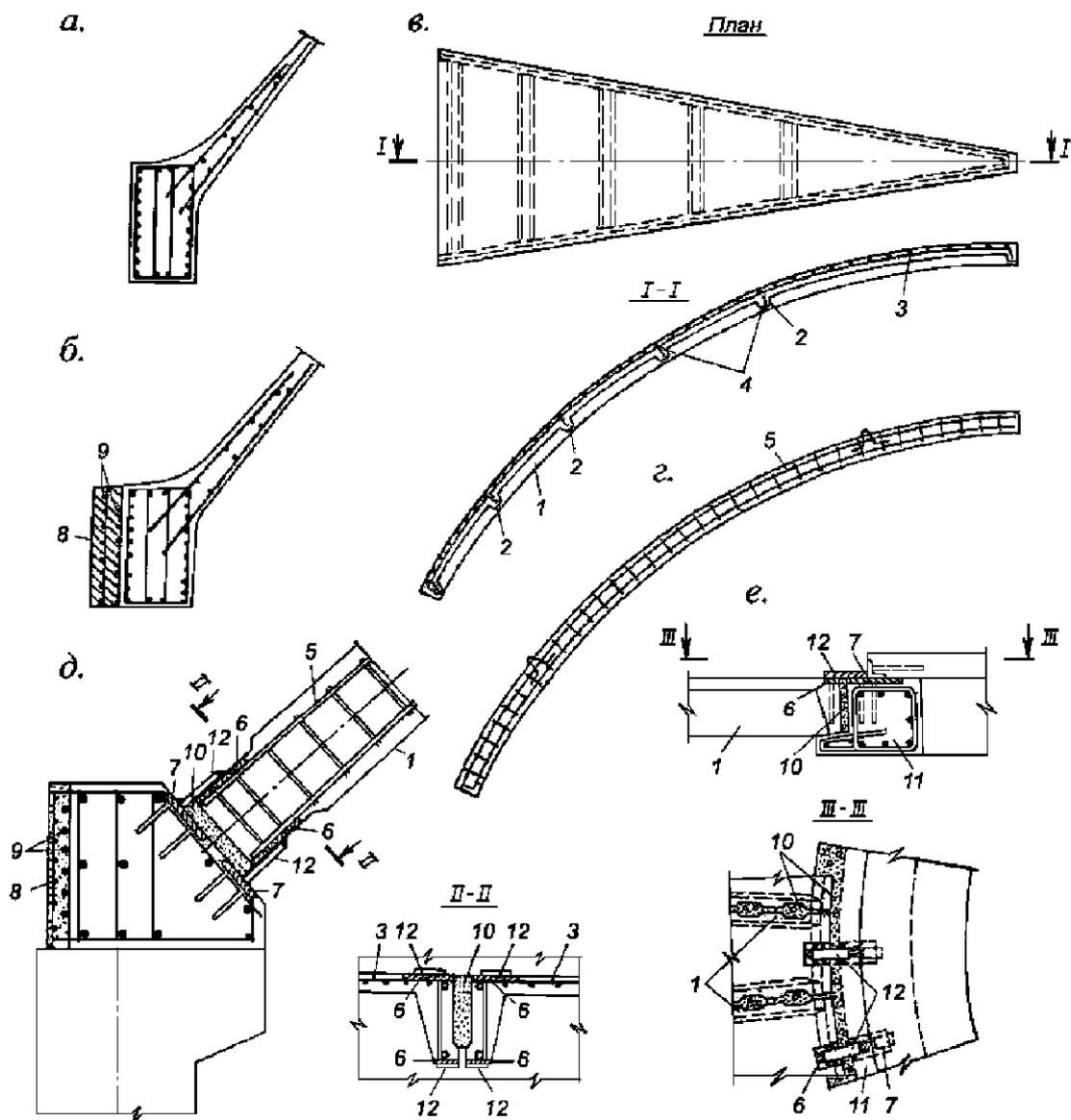
Армирование гладких оболочек при толщине до 7b мм рекомендуется выполнять конструктивно, одиночной сеткой из стержней диаметром 4—6 мм, с шагом 15b—2bb мм. При большей толщине рекомендуется устанавливать две сетки.

В зоне примыкания оболочки к кольцу толщину оболочки увеличивают и устанавливают дополнительную сетку со стержнями диаметром 6—8 мм меридионального направления (рис. 10.9,а,б). Количество стержней рассчитывают по максимальному меридиональному изгибающему моменту.

В местах действия на купол сосредоточенных нагрузок, а также около отверстий и проемов предусматривают дополнительную конструктивную или расчетную арматуру.

10.18. Распор купола воспринимается растянутым опорным кольцом, которое рекомендуется выполнять предварительно напряженным. Выбор величины обжатия и конструирование опорного кольца следует производить из условия обеспечения трещиностойкости кольца и допустимой ширины раскрытия трещин согласно указаниям СП63.13330.

При проектировании следует учитывать способ предварительного напряжения опорного кольца. Рекомендуется предусматривать механическое натяжение пучков, канатов или стержней (рис. 10.10), располагаемых в прямолинейных или криволинейных пазах кольца и закрепляемых в одном, трех, четырех или шести его выступах в зависимости от диаметра кольца. Для стержневой арматуры допускается натяжение арматуры с применением электронагрева. Полигонально-кольцевую арматуру допускается натягивать оттяжкой с помощью радиально установленных домкратов.



a - обычного опорного кольца купола; *б* - предварительно напряженного кольца купола; *в* - сборного элемента (плиты); *г* - продольных ребер плиты; *д* - узла сопряжения продольного ребра плиты с предварительно напряженным опорным кольцом; *е* - узла сопряжения продольного ребра с верхним кольцом; 1 - продольное ребро; 2 - поперечное ребро; 3 - арматурная сетка плиты; 4 - сварные каркасы поперечных ребер; 5 - сварной каркас продольного ребра; 6 - стальные закладные детали в продольном ребре; 7 - стальные закладные детали в элементах кольца; 8 - бетон омоноличивания напрягаемой арматуры; 9 - предварительно напряженная арматура кольца; 10 - шов замоноличивания; 11 - верхнее опорное кольцо; 12 - стальные соединительные накладки.

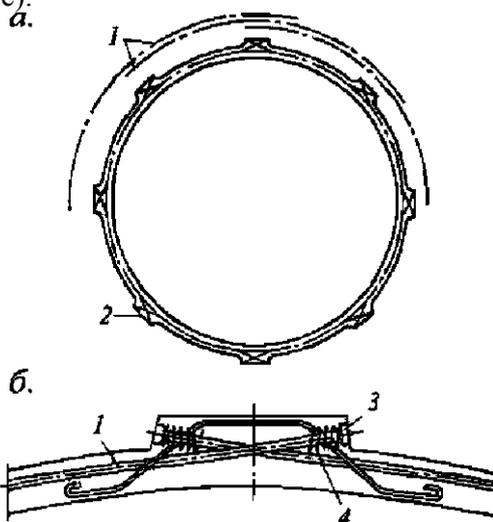
Рисунок 10.9. Армирование монолитных и сборных железобетонных куполов и их элементов

Для купольных покрытий диаметром не более 30 м при устройстве на уровне кольца купола горизонтального покрытия или перекрытия, опоясывающего купол по всему периметру, распор рекомендуется передавать на это перекрытие. Перекрытие в этом случае проектируют с учетом передающихся на нее распора и изгибающих моментов.

Меридиональные и кольцевые ребра сборных купольных покрытий рекомендуется армировать ортогональными (рис. 10.11) или ромбическими сетками.

Схема армирования ребер приведена на рис. 10.9,в. Если распределенная нагрузка является основной и в средней зоне покрытия изгибающие моменты в ребрах плит незначительны, ребра армируют по расчету на монтажные нагрузки. В приконтурной зоне купола арматура ребер принимают из условия восприятия краевых изгибающих моментов при расчетной нагрузке.

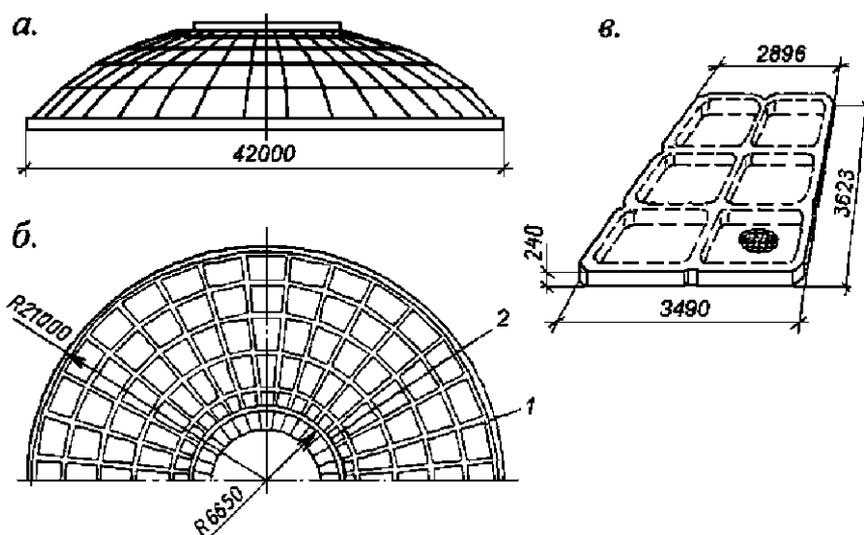
Арматуру меридиональных ребер следует заводить в опорное и фонарное кольца, либо соединять с закладными деталями (рис. 10.9,е).



a — схема армирования; *b* — деталь анкерного узла;

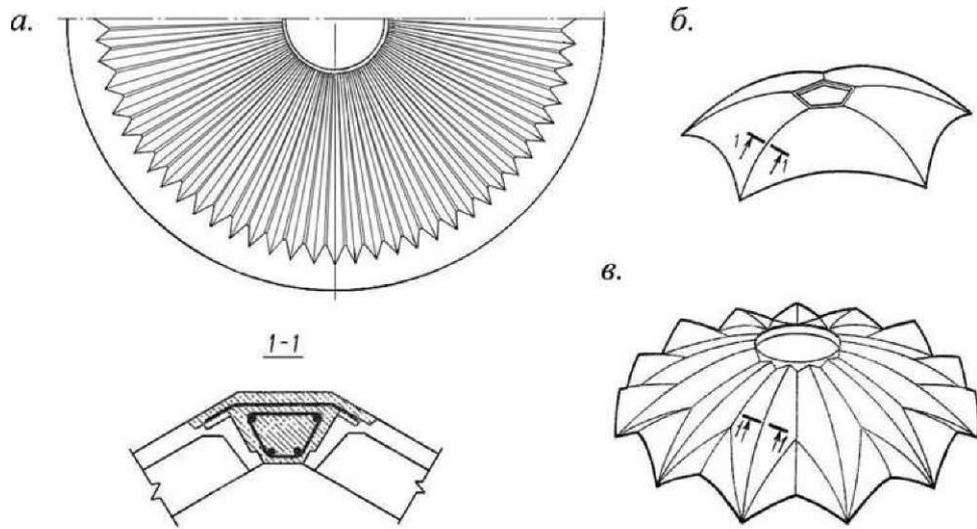
1 — арматурные пучки или стержни; 2 — выступ; 3 — анкер; 4 — спирали.

Рисунок 10.10. Предварительно напряженное опорное кольцо купола



a — общий вид; *b* — план; *в* - трапециевидная плоская плита; 1 — монолитное нижнее опорное кольцо; 2 — монолитное верхнее опорное кольцо

Рисунок 10.11. Сборный купол из плоских ребристых плит



а) складчатый купол; б, в) сопряженные купольные оболочки.

Рисунок 10.12. Формы купольных оболочек