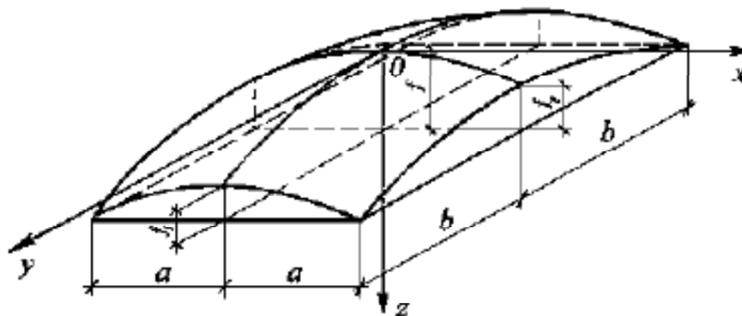


## ПОЛОГИЕ ОБОЛОЧКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ

Пологими считаются оболочки с подъемом над опорным планом, не превышающим

$$f_1 \leq a/5 \text{ и } f_2 \leq b/5,$$

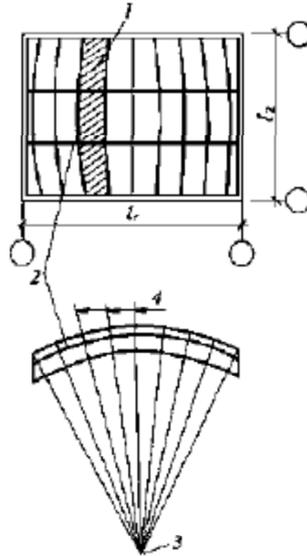
где  $2a$  и  $2b$  — размеры стороны оболочки в плане;  
 $f_1$  и  $f_2$  — стрелы подъема оболочки на контуре (рис. 11.1).



**Рисунок 11.1. Схема оболочки положительной гауссовой кривизны**

В качестве срединной поверхности пологих оболочек рекомендуется принимать поверхность переноса или вращения. Образующими для всех поверхностей рекомендуется принимать круговые кривые. Допускается также применение таких поверхностей, как эллиптический параболоид, эллипсоид вращения, тор и др. Выбор типа поверхности сборных оболочек следует производить с учетом схемы резки, возможностей унификации и технологичности изготовления сборных элементов, а также условий возведения оболочек.

Для сокращения типоразмеров сборных плит сборных оболочек в качестве срединной рекомендуется принимать часть тороидальной поверхности, имеющей положительную кривизну, а членение оболочек на плиты осуществлять системой радиальных секущих плоскостей, проходящих через ось вращения, и системой вертикальных плоскостей, перпендикулярных этой оси (рис. 11.2).



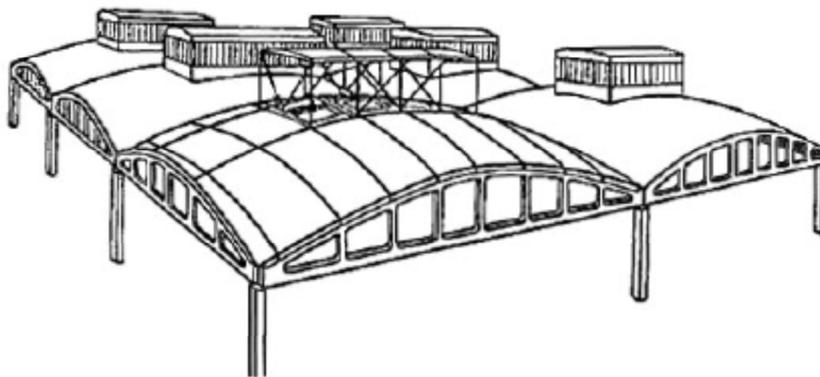
1 — элемент членения; 2 — вертикальные секущие плоскости; 3 — ось вращения радиальных секущих плоскостей; 4 — радиальные секущие плоскости.

**Рисунок 11.2. Схема членения исходной поверхности оболочки на сборные элементы**

Оболочки по контуру следует опирать на диафрагмы, выполняемые в виде арок, ферм или балок, а также криволинейных брусьев, уложенных на стены. Контурные балки рекомендуется применять в отдельно стоящих оболочках при часто расположенных по периметру здания колоннах, а в многоволновых оболочках – по наружным рядам колонн. В остальных случаях (по средним рядам и деформационным швам) рекомендуется устанавливать фермы или арки. Фермы - как более жесткие в вертикальной плоскости, обеспечивают более благоприятную в статическом отношении работу оболочек на смежных диафрагмах.

В зависимости от количества и расположения ячеек здания оболочки проектируют отдельно стоящими (одноволновыми) и многоволновыми в одном и двух направлениях. Многоволновые оболочки проектируют разрезными и неразрезными. К разрезным многоволновым относятся такие оболочки, в которых с помощью специальных конструктивных мер обеспечивается возможность горизонтальной податливости контура не только крайних, но и средних волн оболочек. К разрезным следует относить также оболочки, осуществляемые по типу тангенциально-подвижных, расчетная схема которых близка к отдельно стоящим. Конструкция типовых сборных железобетонных оболочек положительной гауссовой кривизны с тангенциально подвижными диафрагмами представлена на рис. 11.4. В неразрезных оболочках приконтурные зоны соседних конструкций жестко соединяются между собой и с диафрагмами.

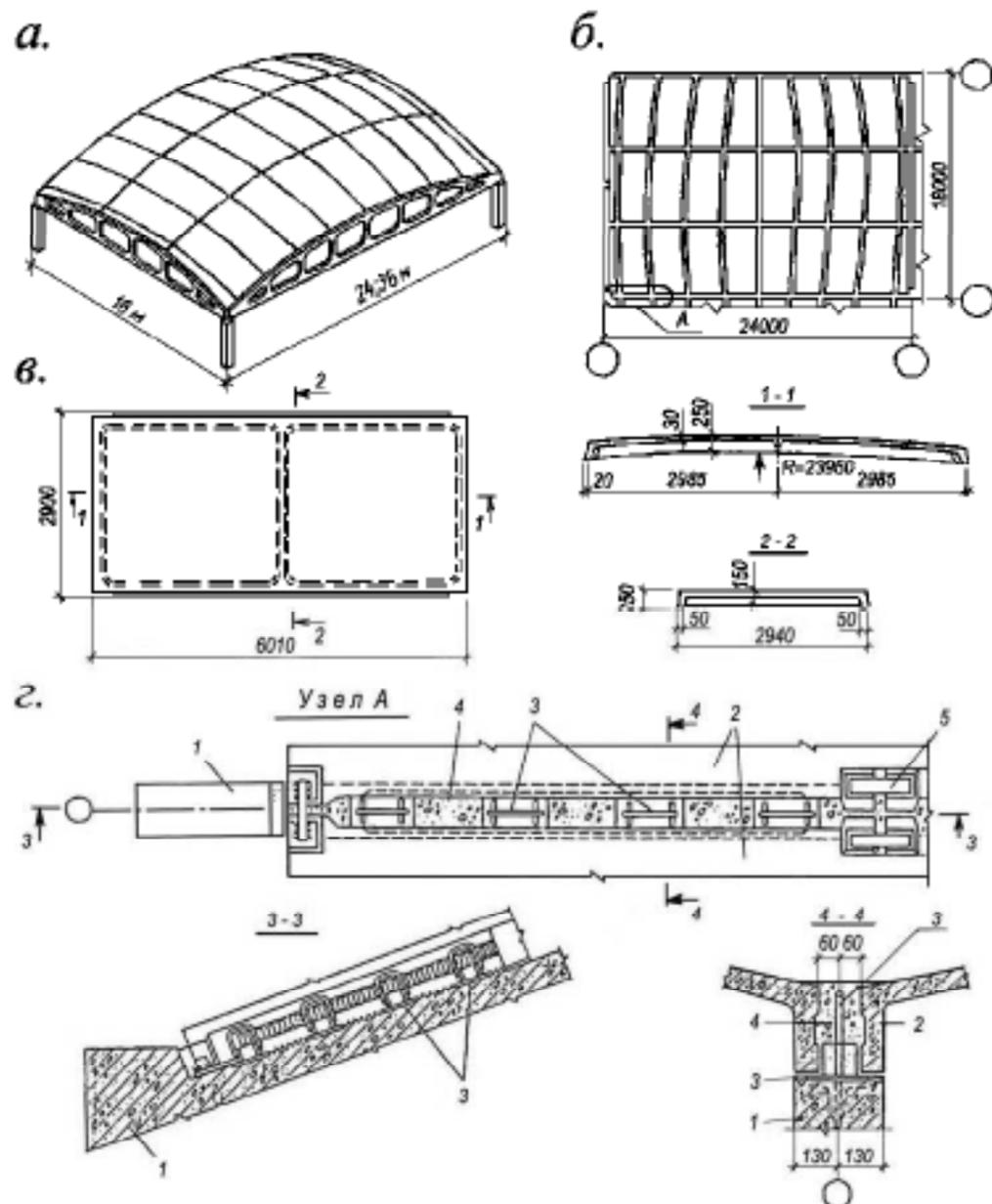
Сборные многоволновые оболочки (рис. 11.3) рекомендуется, как правило, проектировать разрезными.



**Рисунок 11.3. Общий вид многоволновых сборных железобетонных оболочек положительной гауссовой кривизны**

Неразрезные оболочки обладают большей жесткостью, но требуют дополнительного расхода стали для обеспечения неразрезности. Неразрезные оболочки рекомендуется применять при нагрузках на покрытие, превышающих  $6 \text{ кН/м}^2$ , а также в районах с сейсмичностью 7 баллов и более. Монолитные многоволновые оболочки рекомендуется проектировать неразрезными.

В оболочках допускается устройство зенитных или светоаэрационных фонарей, располагаемых в средней зоне. На оболочки допускается передавать нагрузки от подвесных кранов или тельферов, пути которых крепятся к оболочкам на специальных подвесках.



*a* — общий вид оболочки; *б* — план оболочки размером 18x24 м; *в* — цилиндрические ребристые панели размером 3x6 м; *г* — деталь сопряжения смежных оболочек;

1 — железобетонный упор верхнего пояса диафрагмы; 2 — контурные плиты;

3 — стальные упоры; 4 — бетон замоноличивания угловой зоны; 5 — соединительные накладки.

**Рисунок 11.4.** Конструкция типовых сборных железобетонных оболочек с тангенциально подвижными диафрагмами

## Рекомендации по расчету

### Расчет отдельно стоящих (одноволновых) оболочек

Усилия и деформации в отдельно стоящих оболочках рекомендуется определять расчетом методом конечных элементов с учетом конструктивных особенностей оболочек (наличие ребер, отверстий, переломов поверхности) и фактической жесткости бортовых диафрагм.

Допускается предварительные расчеты пологих оболочек выполнять по безмоментной теории с учетом краевого эффекта или по моментной теории с определением всех усилий, показанных на рис. 11.5. Безмоментную линейную теорию с учетом изгибающих моментов, возникающих в приопорных зонах, допускается использовать для предварительных расчетов шарнирно-опертых гладких оболочек с подъемом  $f > 20\delta$  при равномерно распределенной нагрузке. При этом шарнирным принимают опирание оболочки на стены или на часто расположенные по контуру колонны, а также на достаточно жесткие в своей плоскости и гибкие из плоскости диафрагмы, например в виде железобетонных ферм с предварительно напряженным нижним поясом.

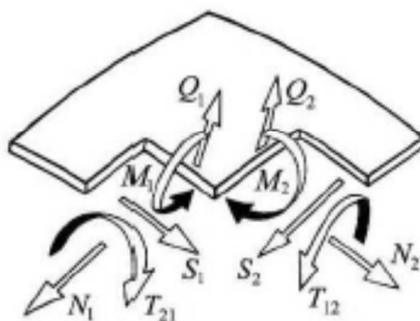


Рисунок 11.5. Схема усилий в пологих оболочках

Целесообразность расчета оболочки по нелинейной теории рекомендуется устанавливать следующим образом:

- по формулам линейной теории определяется максимальный прогиб  $W_l$  при действии полной нагрузки;

- значение прогиба  $W_l$  подставляется в формулы нелинейной теории, по которым определяется величина нагрузки  $q_n$ , соответствующая прогибу  $W_l$ . Если окажется, что  $q_n$  меньше  $q$  (на 5% и более), то оболочку следует рассчитывать по нелинейной теории.

Для оболочки, края которой в плане свободно смещаются, либо шарнирно оперты, либо защемлены, нелинейная зависимость между нагрузками  $q$  и прогибом  $w$  в центре опорного плана оболочки выражается формулой:

$$q^* = \alpha_1 \xi^3 + \alpha_2 \xi_0 \xi^2 + \alpha_3 \xi_0^2 + \alpha_4 \xi_0, \quad (11.1)$$

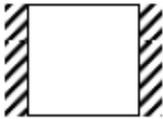
$$q^* = 16 q a^4 / E \delta^4,$$

$2a$  — ширина опорного плана;

$\xi = \omega/\delta$ ;  $\xi_0 = f_0/\delta$  — безразмерные величины;

$f_0$  - начальный подъем оболочки;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  — коэффициенты для квадратной в плане оболочки со стороной  $2a$  для шести случаев граничных условий, принимаемые по табл. 11.1.

Случай граничного условия (штриховкой обозначены защемлённые края)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
I 	+8,63	+8,63	+8,63	+8,63
II 	+9,9	+9,9	+9,9	+9,9
III 	+7,57	+7,57	+7,57	+7,57
IV 	+12,45	+12,45	+12,45	+12,45
V 	+10,31	+10,31	+10,31	+10,31
VI 	+9,24	+9,24	+9,24	+9,24

Примечание. Значения коэффициента  $\alpha_4$  приведены для коэффициента Пуассона  $\nu = 0,3$ ; при других значениях коэффициента Пуассона величину  $\alpha_4$  следует умножить на коэффициент  $0,91(1-\nu^2)$ .

Для оценки влияния геометрической нелинейности на величину нагрузки первоначально подсчитывают наибольшее значение всех нагрузок  $q^*$ , далее по формуле

$\xi_1 = q^* / \alpha_4$  определяют безразмерную величину прогиба  $\xi_1$ , с использованием которой по формуле (11.1) вычисляют соответствующее значение нагрузки  $q_n^*$ , и относительную разницу между  $q_n^*$  и  $q^*$  по формуле:

$$\frac{q_n^* - q^*}{q^*} = \frac{\alpha_1}{\alpha_4^3} (q^*)^2 + \frac{\alpha_2}{\alpha_4} \xi_0 q^* + \frac{\alpha_3}{\alpha_4} \xi_0^2. \quad (11.2)$$

Для безмоментной оболочки с шарнирным опиранием по контуру нормальные и сдвигающие силы  $N_1, N_2$  и  $S$  допускается определять по формулам:

$$N_1 = -\frac{2}{\pi} q R_1 \left[ \operatorname{arctg} \frac{\cos \frac{\pi x}{2a}}{A} + \operatorname{arctg} \frac{\cos \frac{\pi x}{2a}}{B} \right] + \frac{4}{\pi} q R_1 e^{-\pi \theta} C \cos \frac{\pi x}{2a}; \quad (11.3)$$

$$S = \frac{q}{\pi} \sqrt{R_1 R_2} \left[ \ln \frac{A + \sin \frac{\pi x}{2a}}{A - \sin \frac{\pi x}{2a}} - \ln \frac{B + \sin \frac{\pi x}{2a}}{B - \sin \frac{\pi x}{2a}} \right] + \frac{4q}{\pi} \sqrt{R_1 R_2} e^{-\pi \theta} C \sin \frac{\pi x}{2a}.$$

Здесь:

$$\begin{aligned} \theta &= \sqrt{f_1 / f_2}; \\ A &= \operatorname{sh} \frac{\pi}{2} \theta (1 - y/b); B = \operatorname{sh} \frac{\pi}{2} \theta (1 + y/b); \\ C &= \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi}{2b} \theta y}{\operatorname{ch} \frac{\pi}{2} \theta}; \\ N_2 &= -\left( q + \frac{N_1}{R_1} \right) R_2. \end{aligned} \quad (11.4)$$

В формулах (11.3) и (11.4)  $R_1, R_2$  — главные радиусы кривизны срединной поверхности в вершине оболочки.

При расчете диафрагм величину сдвигающих усилий на приопорных участках (0,04—0,05 длины пролета) рекомендуется определять по разности между внешней нагрузкой и вертикальной проекцией сдвигающих сил на остальной части пролета.

Значения изгибающих моментов  $M_1$  и  $M_2$ , действующих в моментной зоне оболочки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, и крутящие моменты  $T_{12}$  следует определять по формулам:

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{qD}{C} \cdot f_1''(x) f_1(y); \\ M_2 &= \frac{qD}{C} \cdot f_1(x) f_1''(y); \\ T_{12} &= \frac{qD}{C} \cdot f_1'(x) f_1'(y), \end{aligned} \quad (11.5)$$

где  $f_1(x)$  и  $f_1(y)$  — функции, характеризующие изгибное состояние оболочки на контуре;

$$D = \frac{E \delta^3}{12(1-\nu^2)}; \quad C = \frac{E \delta}{R_1 R_2}.$$

Функция  $f_1(x)$  и ее производные имеют вид:

$$f_1(x) = 1 - e^{-\frac{x}{s_1}} \left[ \cos \frac{x}{s_1} - 4,94 \left( \frac{s_2}{2b} \right)^2 \sin \frac{x}{s_1} \right];$$

$$f_1'(x) = \frac{1}{s_1} e^{-\frac{x}{s_1}} \left( \cos \frac{x}{s_1} + \sin \frac{x}{s_1} \right); \quad (11.6)$$

$$f_1''(x) = -\frac{2}{s_1^2} e^{-\frac{x}{s_1}} \left[ 4,94 \left( \frac{s_2}{2b} \right)^2 \cos \frac{x}{s_1} + \sin \frac{x}{s_1} \right]$$

Функция  $f_1(y)$  и ее производные имеют вид (11.6) с заменой индекса  $x$  на  $y$  и  $s_1$ , на  $s_2$ . Для удобства вычисления начало координат располагают в углу оболочки. В формуле (11.6):

$$s_1 = 0,76 \sqrt{R_2 \delta}; \quad (11.7)$$

$$s_2 = 0,76 \sqrt{R_1 \delta}.$$

Максимальные значения изгибающих  $(M_1)_{\max}$  и  $(M_2)_{\max}$  и крутящих  $(T_{12})_{\max}$  моментов при  $x=y=0$  следует определять по формулам:

$$(M_1)_{\max} = q s_1^2 / 6$$

$$(M_2)_{\max} = q s_2^2 / 6 \quad (11.8)$$

$$(T_{12})_{\max} = q s_1 s_2 / 4$$

Усилия при равномерно распределенной нагрузке при расчете отдельно стоящих квадратных в плане оболочек со сторонами  $l$  по моментной теории рекомендуется определять по формулам:

а) нормальные силы  $N_1$  в направлении оси  $x$  и  $N_2$  в направлении оси  $y$  по линии  $y = 0$

$$N_1 = -\frac{q l^2}{\delta} k_{N_1}, \quad N_2 = -\frac{q l^2}{\delta} k_{N_2} \quad (11.9)$$

б) изгибающие моменты  $M$  в направлении оси  $X$  по линии  $Y = 0$  (рис. 11.7):

$$M = q l^2 k_M, \quad (11.10)$$

в) сдвигающие усилия  $S$  по граням оболочки (рис. 11.8):

$$S = \frac{q l^2}{\delta} k_S, \quad (11.11)$$

г) поперечные силы  $Q$ , действующие по граням оболочки (рис. 11.8):

$$Q = q l k_Q \quad (11.12)$$

д) главные усилия  $N_{pr}$ , действующие в оболочке (в направлении диагонали – кривая 1) и нормально к ней (рис. 11.9 – кривая 2):

$$N_{pr} = -\frac{q l^2}{\delta} k_{pr} \quad (11.13)$$

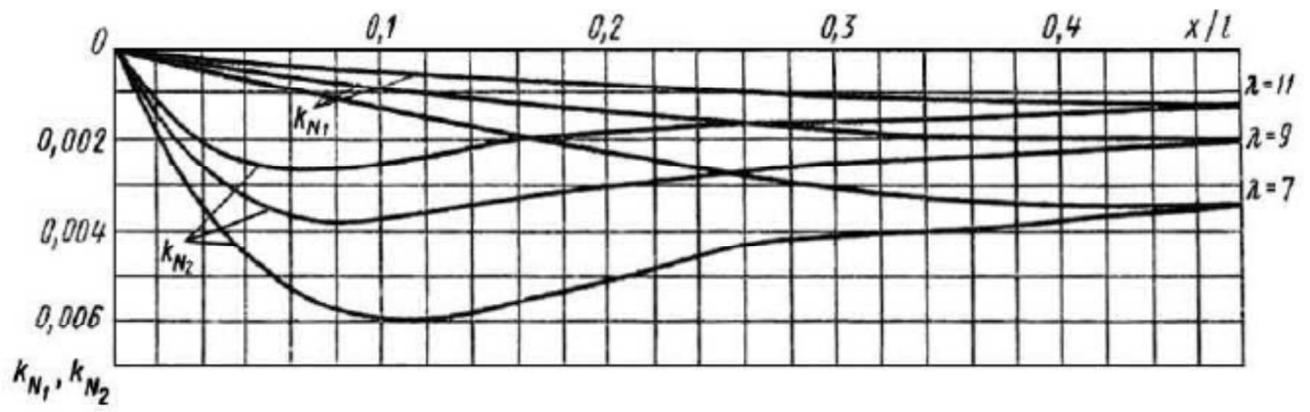


Рисунок 11.6. Графики коэффициентов  $k_{N1}$ ,  $k_{N2}$

В формулах (11.9) - (11.13)  $k_{N1}$ ,  $k_N$ ,  $k_M$ ,  $k_{pr}$ ,  $k_{Q2}$ . — коэффициенты, принимаемые по графикам на рис. 11.6-11.9, построенных для значений  $\lambda$  ( $\lambda = 1,17 (f/\delta)^{1/2}$ ), равных 7, 9 и 11.

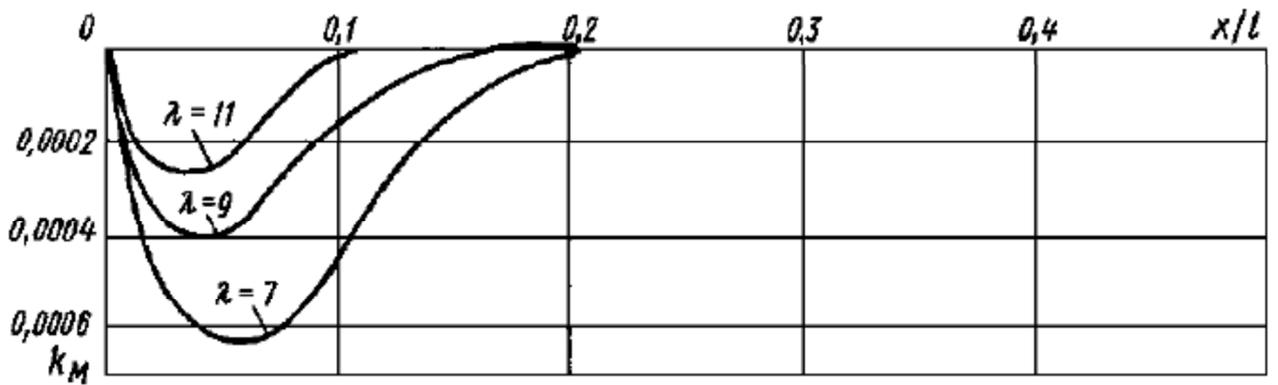


Рисунок 11.7. Графики коэффициентов  $k_M$

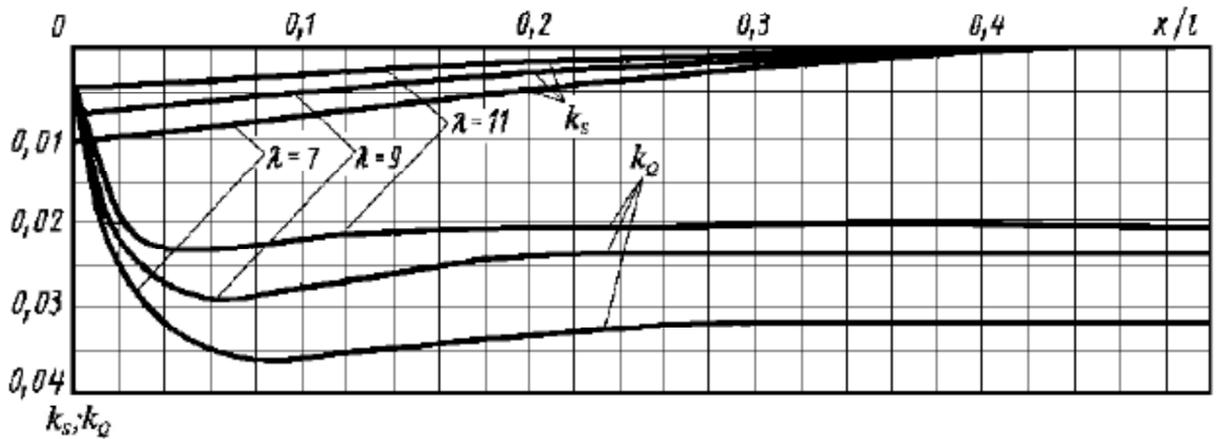


Рисунок 11.8. Графики коэффициентов  $k_s, k_Q$

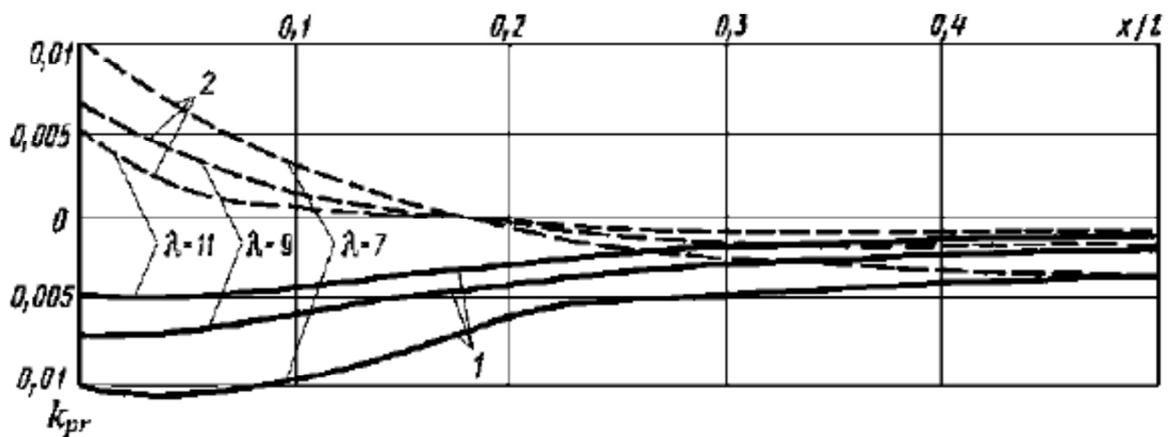


Рисунок 11.9. Графики коэффициентов  $k_{pr}$

При расчете отдельно стоящих шарнирно опертых оболочек по безмоментной теории с учетом краевого эффекта или по моментной теории следует учитывать податливость контурных диафрагм.

Расчет требуемого сечения арматуры в угловой зоне оболочки следует производить на действие главных растягивающих усилий на грани оболочки, направленных под углом  $45^\circ$  к контуру и численно равных сдвигающим усилиям. Для квадратных в плане оболочек главные усилия, действующие в направлении диагонали и нормально к ней, следует определять по формуле (11.13), а сдвигающие по граням оболочки — по формуле (11.11).

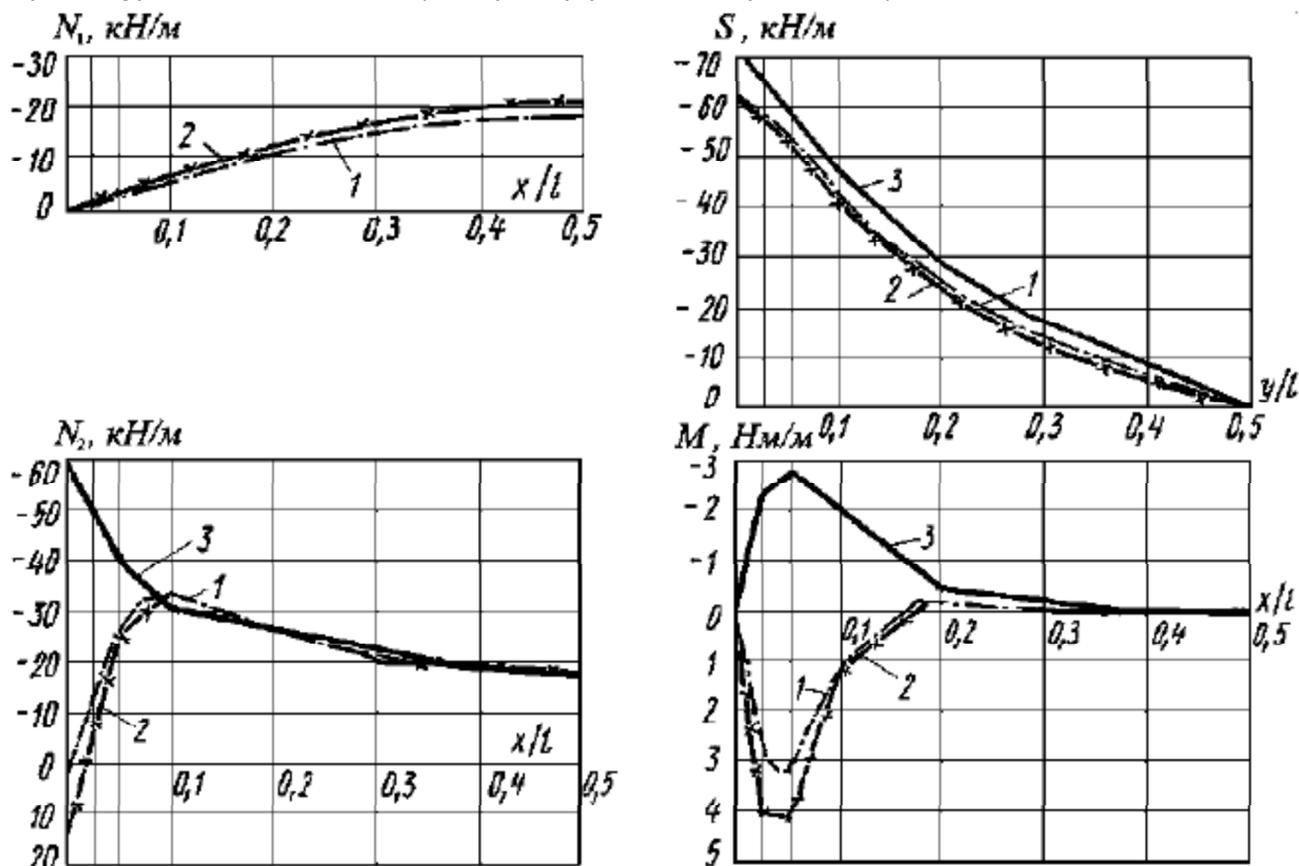
Расчет диафрагмы оболочек следует производить на действие сдвигающих сил  $S$ , касательных к срединной поверхности оболочки, обратных по направлению и равных по величине сдвигающим усилиям в оболочке, а также поперечных сил. Для квадратных в плане оболочек сдвигающие усилия и поперечные силы, действующие по граням, следует определять по формулам (11.11) и (11.12).

При расчете диафрагм в виде ферм усилия следует прикладывать в узлы. При переносе усилий с оси оболочки на ось диафрагмы следует учитывать возникающие при этом дополнительные моменты.

Одностороннюю равномерно распределенную нагрузку рекомендуется заменять комбинированной из симметричной и обратно симметричной нагрузок. Усилия в оболочках с соотношением сторон в плане 1 : 2, имеющих одинаковые или близкие по величине радиусы кривизны в направлениях, параллельных обеим сторонам контура, при равномерно распределенной нагрузке допускается определять по формулам и таблицам для расчета квадратных оболочек, нагруженных обратно симметричной нагрузкой.

### Учет жесткости контурных диафрагм и их влияние на напряженно-деформированное состояние оболочек

Расчет оболочек следует производить с учетом жесткости контурных диафрагм, существенно влияющей на напряженно-деформированное состояние оболочки, особенно в приконтурной зоне оболочки (см. пример расчета на рис. 11.10).



1 – без учета податливости диафрагм; 2 – с учетом податливости диафрагм в виде ферм; 3 – то же в виде арок.

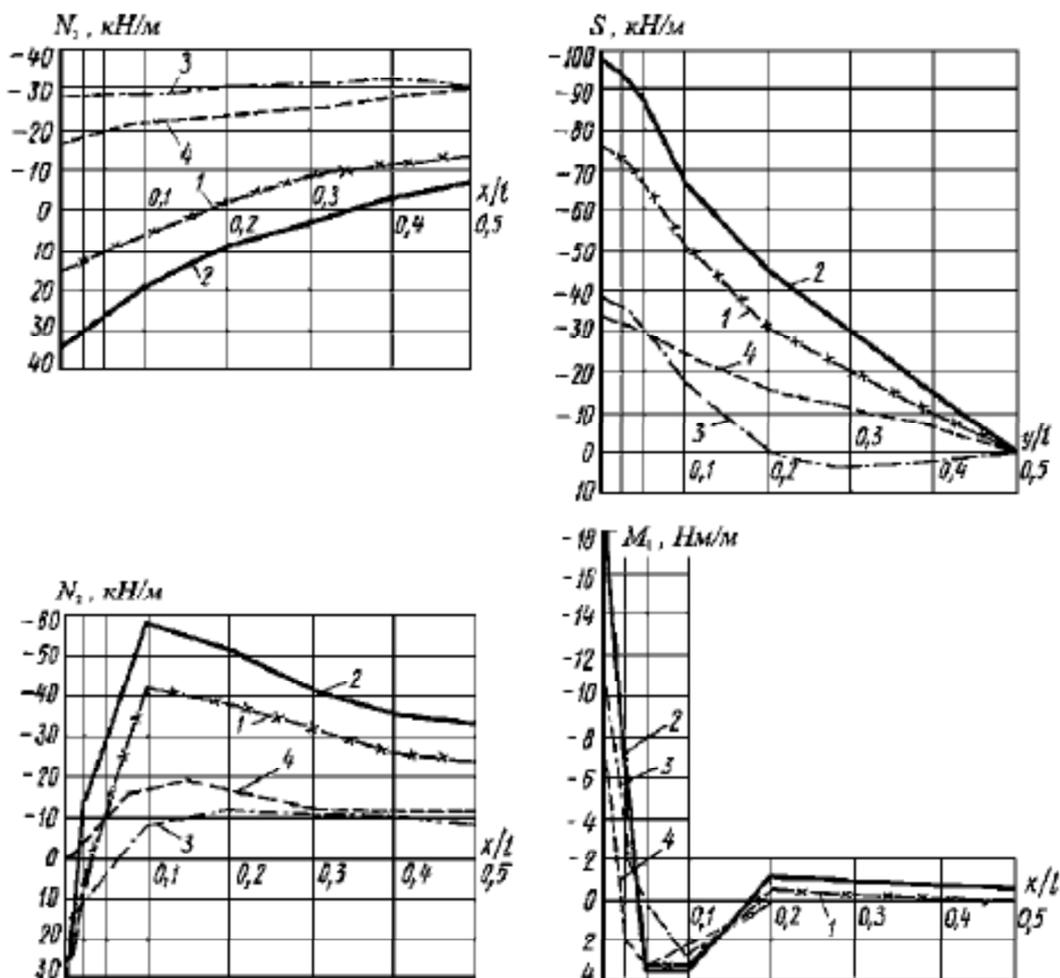
**Рисунок 11.10. Графики усилий  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $S$  и  $M$  в отдельно стоящей оболочке по результатам расчетов**

При шарнирном опирании на жесткие диафрагмы усилия  $N_2$  на контуре равны нулю. При диафрагмах в виде ферм оболочка в краевой зоне испытывает незначительное растяжение от усилий  $N_2$ . При диафрагмах в виде арок, обладающих значительной податливостью, в результате сжимающих напряжений от изгиба контура оболочка в приконтурной зоне оказывается сжатой. При податливых диафрагмах в виде арок от изгиба растянута верхняя грань оболочки, при более жестких диафрагмах в виде ферм - растянута нижняя грань. Таким образом, лишь при достаточной жесткости диафрагм, например, в виде железобетонных ферм с предварительно напряженным нижним поясом, допустимо в первом приближении вести расчет без учета податливости диафрагм. Расчет может производиться по безмоментной теории с учетом краевого эффекта или по моментной теории.

В оболочках с контурными элементами в виде криволинейного бруса, опертого на колонны, распределение усилий в приконтурной зоне отлично от оболочек с контурными элементами других видов (арки, фермы и др.), что должно учитываться при расчете и конструировании.

Усилия в колоннах, изгибающие моменты в контурных элементах и их прогибы допускается определять приближенно - из расчета контурных брусьев как неразрезных балок на равномерно распределенную по их длине нагрузку интенсивностью, равной частному от деления общей нагрузки на оболочку на длину контура в осях. Из расчета контурных брусьев как неразрезных балок могут быть найдены усилия в них и от осадки колонн (опор).

При расчете и конструировании оболочек следует учитывать, что в отдельно стоящих оболочках упругая податливость диафрагм влияет существенно лишь на усилия, действующие в сечениях у диафрагм, а в средних оболочках многоволнового покрытия - на усилия по всей конструкции (см. пример расчета на рис. 11.11). При расчете с учетом действительной жесткости диафрагм в виде арок и ферм по линии сопряжения оболочек возникают усилия растяжения, причем при более гибких диафрагмах в виде арок действуют большие растягивающие усилия  $N_1$ . При абсолютно жестких диафрагмах усилия  $N_2$  на контуре равны нулю, а по всему сечению являются сжимающими. При учете податливости диафрагм в сечениях оболочек у контура возникают усилия растяжения и существенно увеличиваются сдвигающие усилия.



1 — с учетом податливости диафрагм в виде ферм; 2 — то же, в виде арок; 3 — то же, в виде криволинейных ригелей; 4 — без учета податливости диафрагм;

**Рисунок 11.11. Графики усилий  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $S$  и  $M_1$  в многоволновых неразрезных оболочках по результатам расчетов**

Расчет с учетом действительной жесткости контурных элементов рекомендуется выполнять путем наложения на основное напряженно-деформированное состояние от действия нагрузки на шарнирно опертую по контуру оболочку дополнительных значений

усилий и перемещений, вызванных воздействием на основную систему «лишних» неизвестных, учитывающих совместную работу оболочки с примыкающими конструкциями. При этом в качестве неизвестных принимают краевой изгибающий момент, краевое нормальное усилие, продольные и нормальные к поверхности перемещения точек края оболочки и определяют их из решения системы четырех канонических уравнений, составленных из условия, что деформации, вызванные на одном краю оболочки, затухают, не дойдя до трех других краев.

Если допустить, что деформации, вызванные на одном краю оболочки, затухают, не дойдя до трех других краев, по каждому краю оболочки следует составить и решить систему из четырех канонических уравнений, связывающих «лишние» неизвестные между собой. В качестве этих неизвестных приняты краевой изгибающий момент, краевое нормальное усилие, продольные и нормальные к поверхности перемещения точек края оболочки.

### Конструирование

Толщина и армирование средней зоны гладких оболочек, где действуют только сжимающие усилия, предварительно назначают конструктивно и проверяют расчетом на устойчивость.

В ребристых сборных оболочках толщину поля панелей средней зоны назначают с учетом технологических возможностей производства и проверяют расчетом на заданную величину расчетной нагрузки.

Плиту в приконтурных и угловых зонах оболочки рекомендуется утолщать с целью размещения дополнительной арматуры и восприятия действующих усилий, увеличенных по сравнению с центральной зоной.

Утолщение оболочки вдоль контура целесообразно выполнять на всей ширине действия приконтурных изгибающих моментов (рис. 11.14) с плавным переходом к постоянной толщине за зоной действия изгибающих моментов.

Толщину оболочки в угловой зоне назначают по расчету при соблюдении условия для главных растягивающих и главных сжимающих напряжений  $\sigma_{prt} \leq 0,3 R_b$ ,  $\sigma_{prc} \leq R_b$  и с учетом обеспечения возможности размещения необходимого количества арматуры.

В приконтурных участках оболочки в зоне действия изгибающих моментов следует укладывать дополнительную арматуру. Если эта арматура воспринимает положительные моменты, то она располагается в нижней зоне плиты (рис. 11.21). Основную сетку при этом располагают в верхней зоне и для неразрезных конструкций проверяют на восприятие отрицательных моментов, возникающих при защемлении плиты на промежуточных диафрагмах. Для восприятия растягивающих усилий, действующих параллельно контуру, у нижней грани оболочки на приопорных участках укладывают рабочую или конструктивную арматуру.

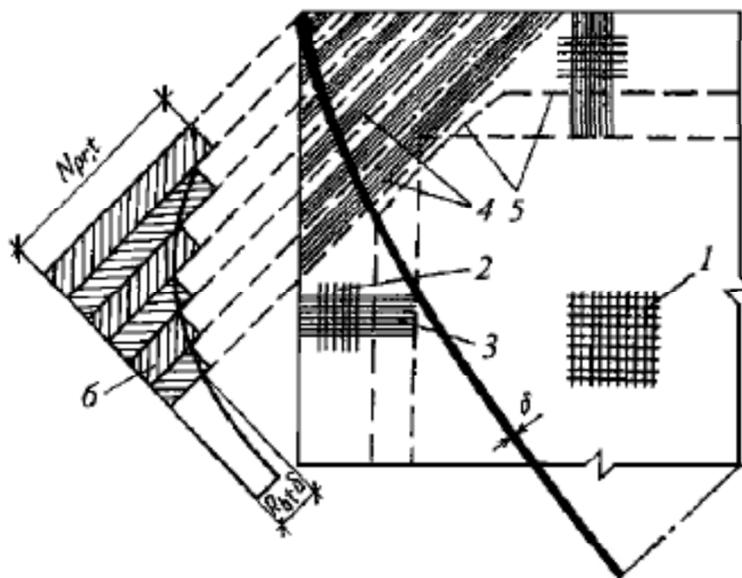
Для восприятия главных растягивающих напряжений, действующих в угловых зонах, рекомендуется к основной арматуре добавлять косую, перпендикулярную диагонали плана (рис. 11.21). В оболочках пролетом более 40 м эту арматуру рекомендуется выполнять предварительно напряженной. Вблизи углов оболочки эту арматуру рекомендуется заменять обычной.

Арматуру для восприятия главных растягивающих напряжений принимают в виде отдельных стержней или сеток и располагают у верхней и нижней поверхностей плит оболочки.

Габариты плит сборных оболочек определяют исходя из требований обеспечения их экономичности по расходу материалов, унификации, технологичности изготовления, выбранного способа монтажа. Цилиндрические плиты в сравнении с плитами двойной кривизны более просты в изготовлении, а в сравнении с плоскими плитами - требуют меньшего расхода материалов.

Плиты рекомендуется проектировать с контурными и промежуточными ребрами одинаковой высоты. В плитах размерам 3х6 м рекомендуется принимать одно, а в плитах размером 3х12 м — два или три поперечных ребра.

По внешним боковым граням ребер плит предусматривают пазы для образования шпонок, воспринимающих после замоноличивания швов сдвигающие и перерезывающие усилия. Плиты рекомендуется армировать сварными сетками и каркасами. В местах сопряжения полки с ребром рекомендуется устраивать вуты.



1 — конструктивная арматура в зоне сжимающих напряжений; 2 — то же, в зоне действия моментов; 3 — рабочая арматура в зоне действия моментов; 4 — то же, для восприятия главных растягивающих напряжений в виде косых стержней или сеток; 5 — зона утолщения оболочки; 6 — эпюра главных растягивающих напряжений.

**Рисунок 11.21. Схема армирования пологих оболочек**

Увеличение толщины оболочки в угловых зонах рекомендуется выполнять с помощью набетонки монолитного железобетона, укладываемого поверх сборных плит. В пределах набетонки располагают дополнительную косую рабочую арматуру, устанавливаемую по расчету.

Ребра панелей в местах стыков с переломами, в которых имеются усилия растяжения, рекомендуется соединять сваркой закладных деталей.

Для обеспечения передачи с оболочки на контурные элементы сдвигающих усилий и поперечных сил и совместного деформирования плит и контурных элементов пространство до уровня верха плит над контурными элементами по периметру неразрезных оболочек следует замоноличивать.

В конструкциях, осуществляемых по типу тангенциально-подвижных, соседние оболочки, опирающиеся на общий контурный элемент, соединяют между собой жестко только в угловых зонах (рис. 11.4,г). Приопорные участки между оболочками над контурными элементами замоноличивают на всю высоту панелей. На этих участках рекомендуется располагать металлические упоры, приваренные к контурным элементам и воспринимающие сдвигающие усилия (рис. 11.4,г).

Для пролетов 18 и 24 м контурные элементы принимают железобетонными, при больших пролетах рекомендуется применять раскосные стальные фермы. Торцы взаимно перпендикулярных контурных ферм следует соединять между собой, в том числе сварными накладками.

Рабочую арматуру контурных элементов в виде криволинейного бруса, опертого на колонны, допускается полностью размещаться в контурных брусках. Арматуру контурных брусков целесообразно выполнять предварительно напряженной.

В оболочках со светоаэрационными или зенитными фонарями фонарный проем рекомендуется выполнять с помощью плит-рамок, представляющих собой систему продольных и поперечных ребер. При проектировании плит-рамок по контуру ребер за вуютом рекомендуется по контуру отверстия уложить дополнительную арматуру. Углы отверстия в полке должны быть закругленными.

Подвески путей подвесных кранов или тельферов рекомендуется располагать с шагом 6 м и выполнять жесткими в плоскости, перпендикулярной рельсам. Подвески рекомендуется крепить к оболочке анкерными болтами через специальные отверстия, располагаемые в углах пересечения плит либо в швах между плитами. В зоне расположения подвесок крановых путей швы между плитами рекомендуется замоноличивать на всю высоту.