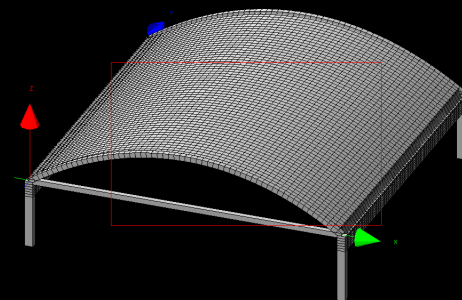
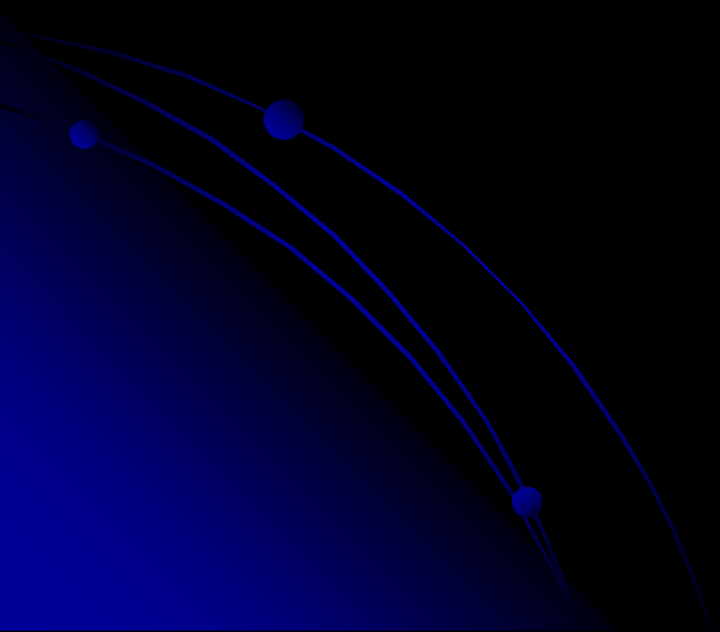


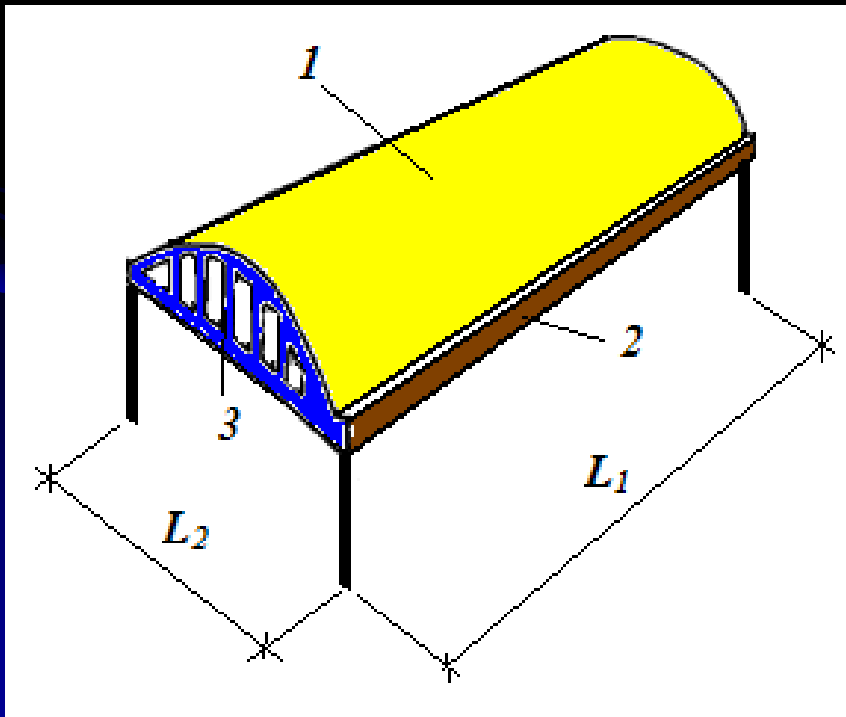
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ



Цилиндрические оболочки

состоят из следующих основных элементов:

- 1 - тонкая плита, очерченная по цилиндрической поверхности;
- 2 - бортовой элемент;
- 3 - поперечные диафрагмы (фермы или арки), опирающиеся на колонны или стены.



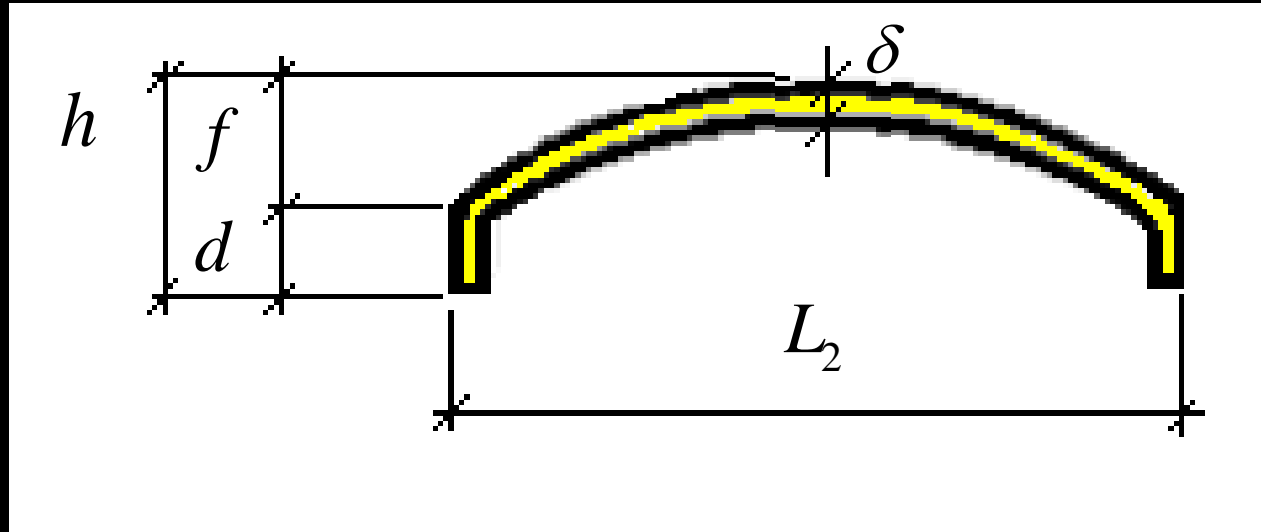
L_1 - Пролет оболочки

L_2 - Длина волны

если $\frac{L_1}{L_2} \geq 1$

оболочку условно считают
длинной оболочкой,
иначе - короткой

ДЛИННЫЕ ОБОЛОЧКИ



Полная высота покрытия: $h \approx \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{15} \right) L_1$ $h \geq \frac{1}{6} L_2$

- Предварительное напряжение позволяет высоту уменьшить.

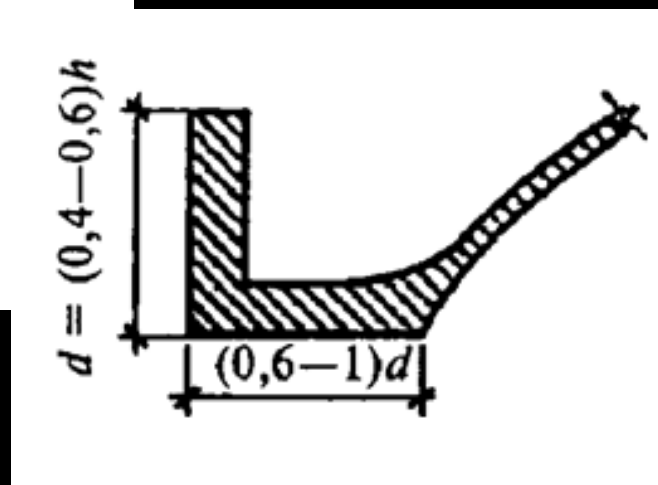
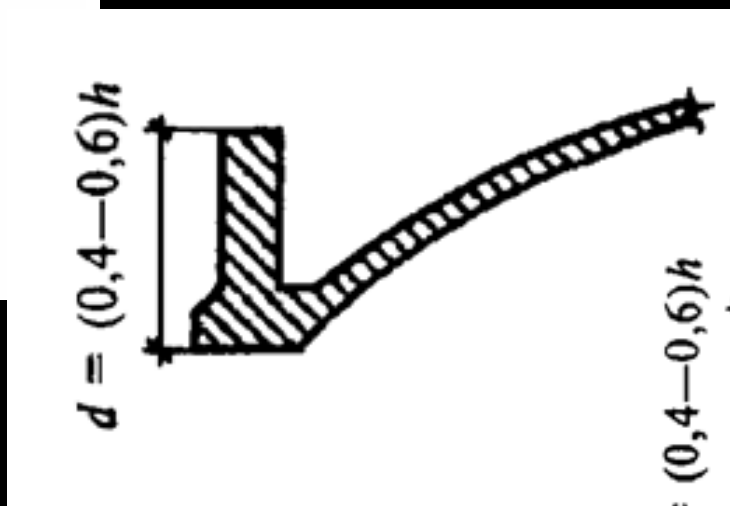
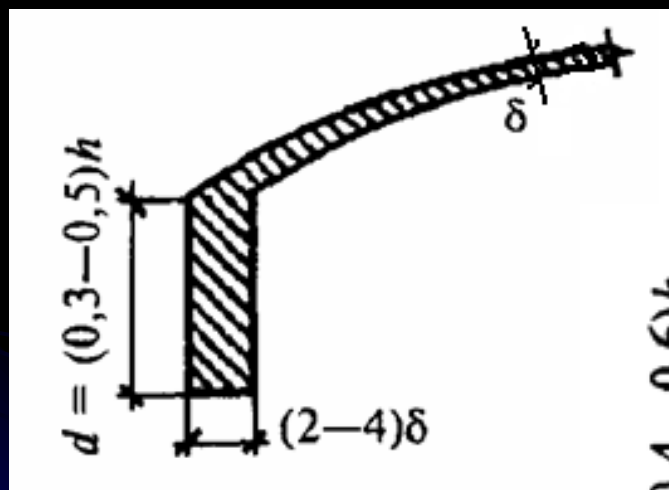
Толщина $\delta \approx \left(\frac{1}{200} - \frac{1}{300} \right) L_2$ Стрела подъема $f \approx \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{8} \right) L_2$

но не менее 5 см для монолита и 3 см для сборных плит

Конфигурация и примерные размеры бортовых элементов

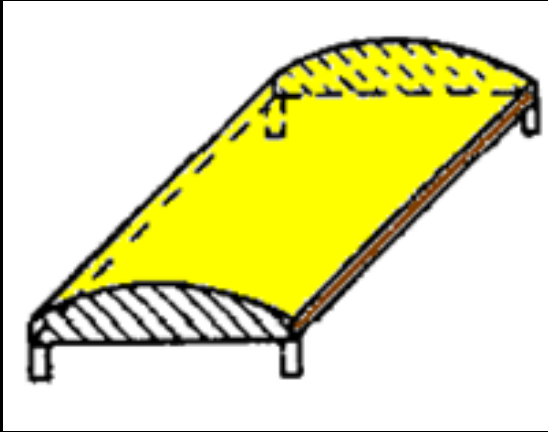
$$d \approx \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{30} \right) L_1$$

Кроме того следует соблюдать требования:

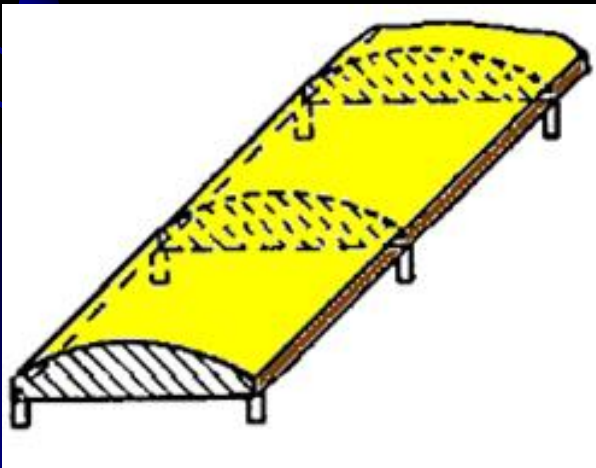


Оболочки могут быть:

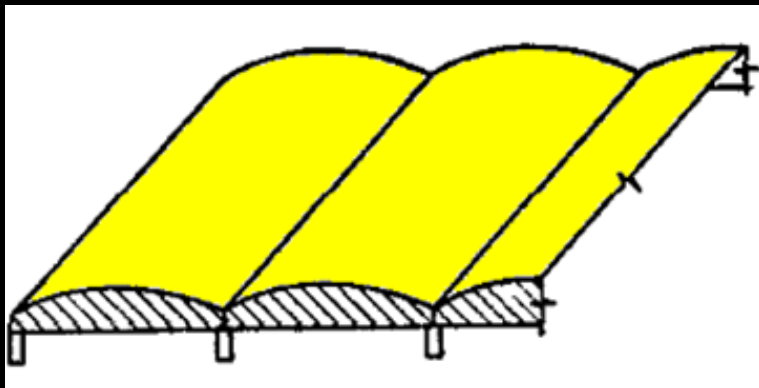
- Монолитным, сборными и сборно-монолитными



- Однопролетными, одноволновыми

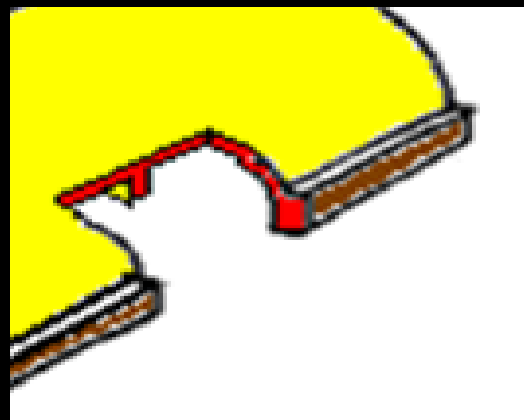
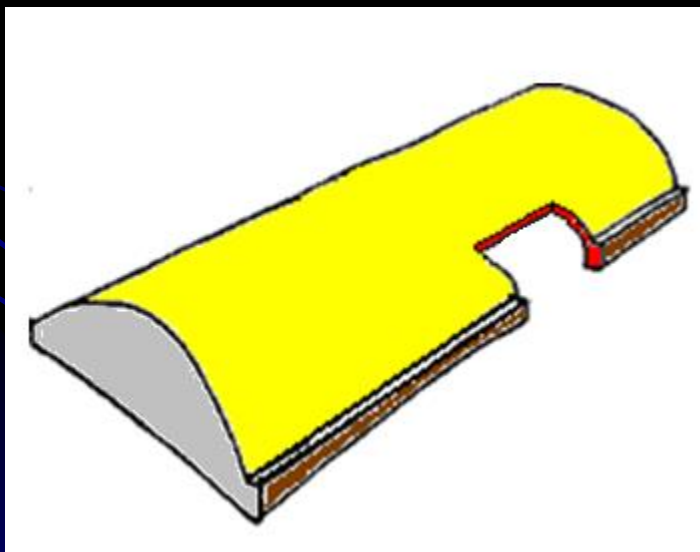


- Многопролетными



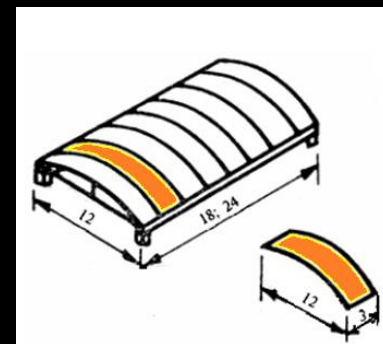
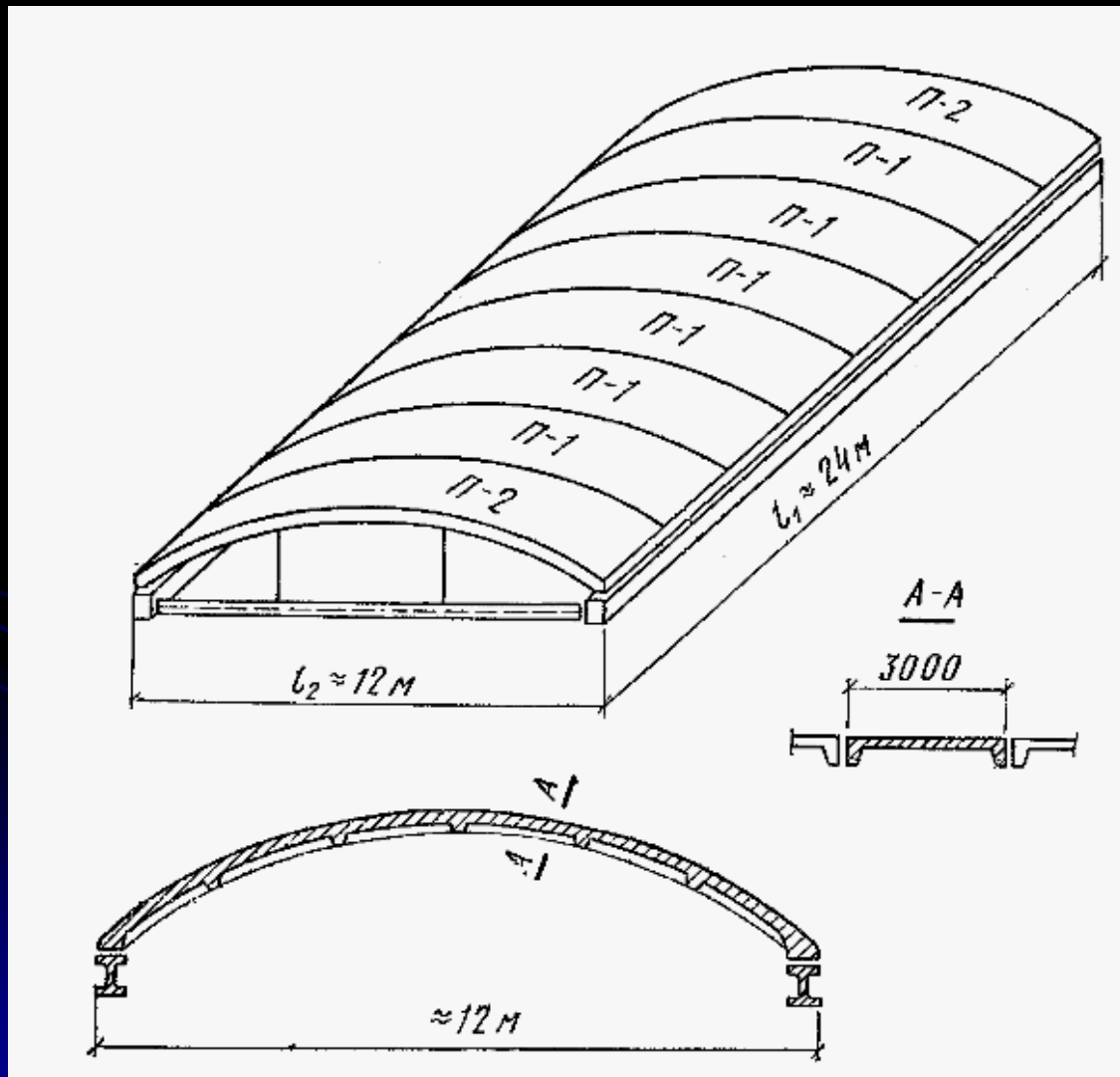
- Многоволновыми

- Гладкими или ребристыми

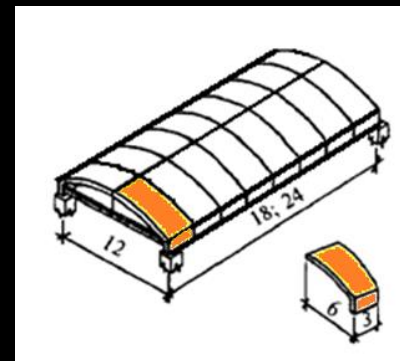
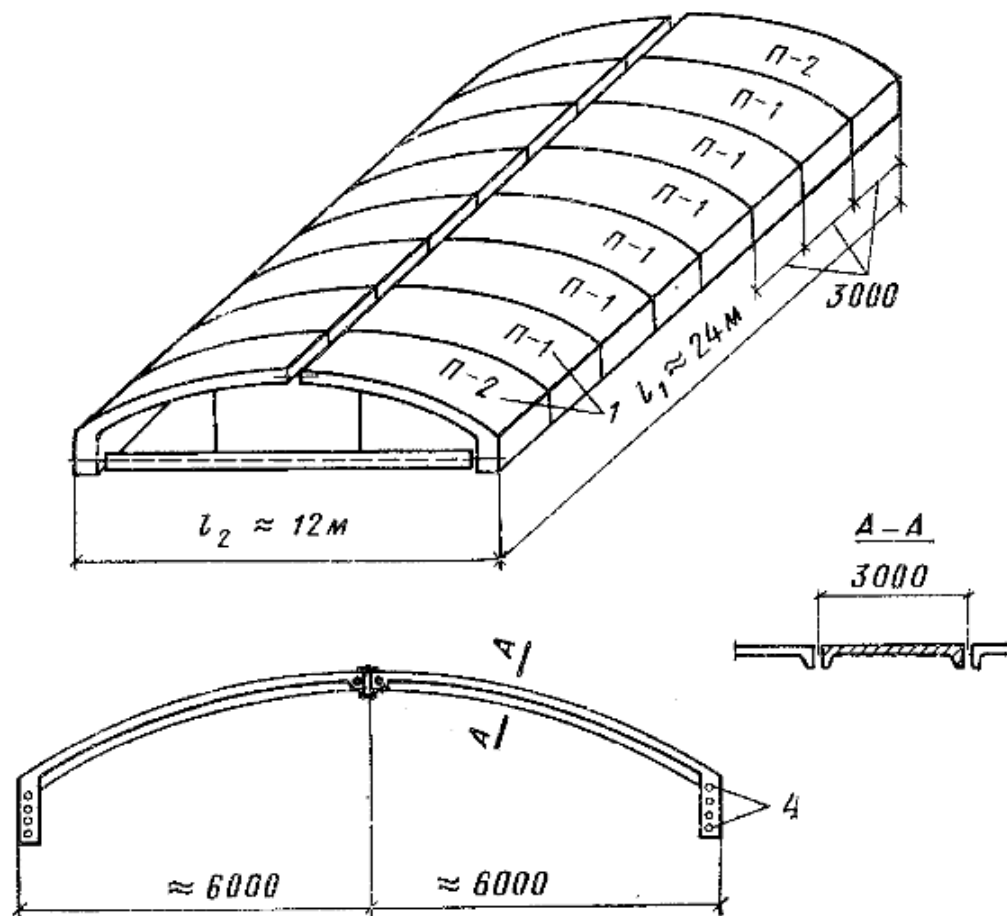


По технологическим соображениям монолитные оболочки желательно делать гладкими.

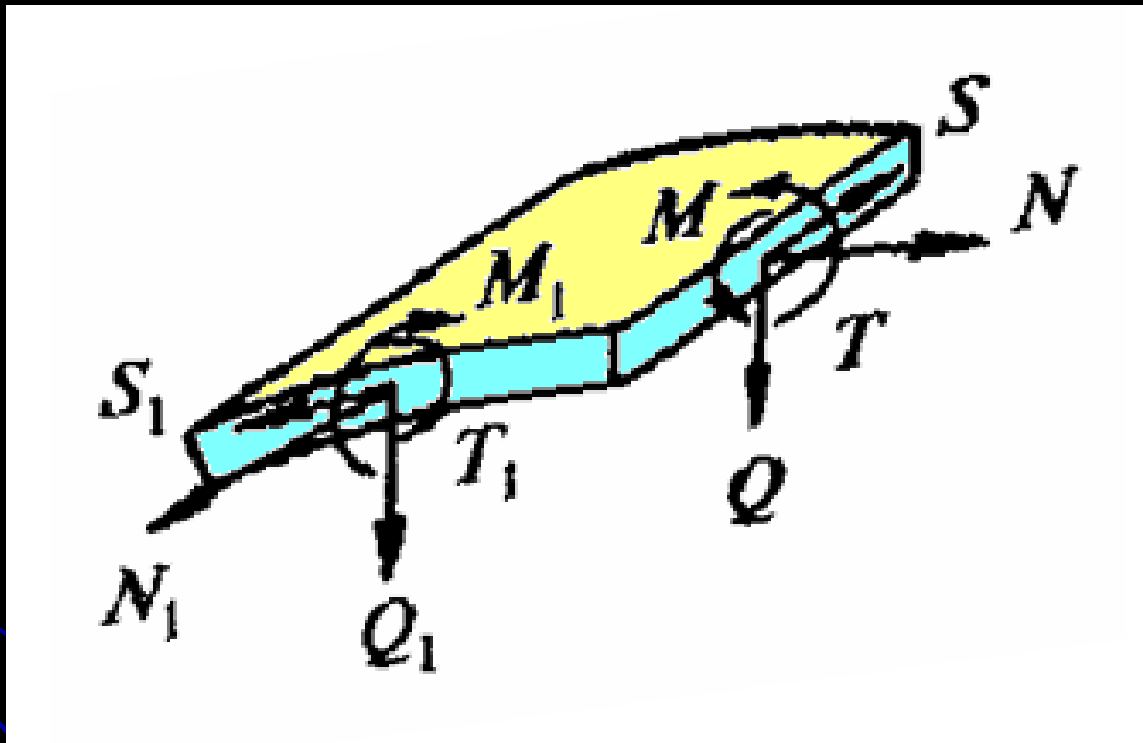
Примеры членения цилиндрических оболочек на сборные элементы



Примеры членения длинных цилиндрических оболочек на сборные элементы

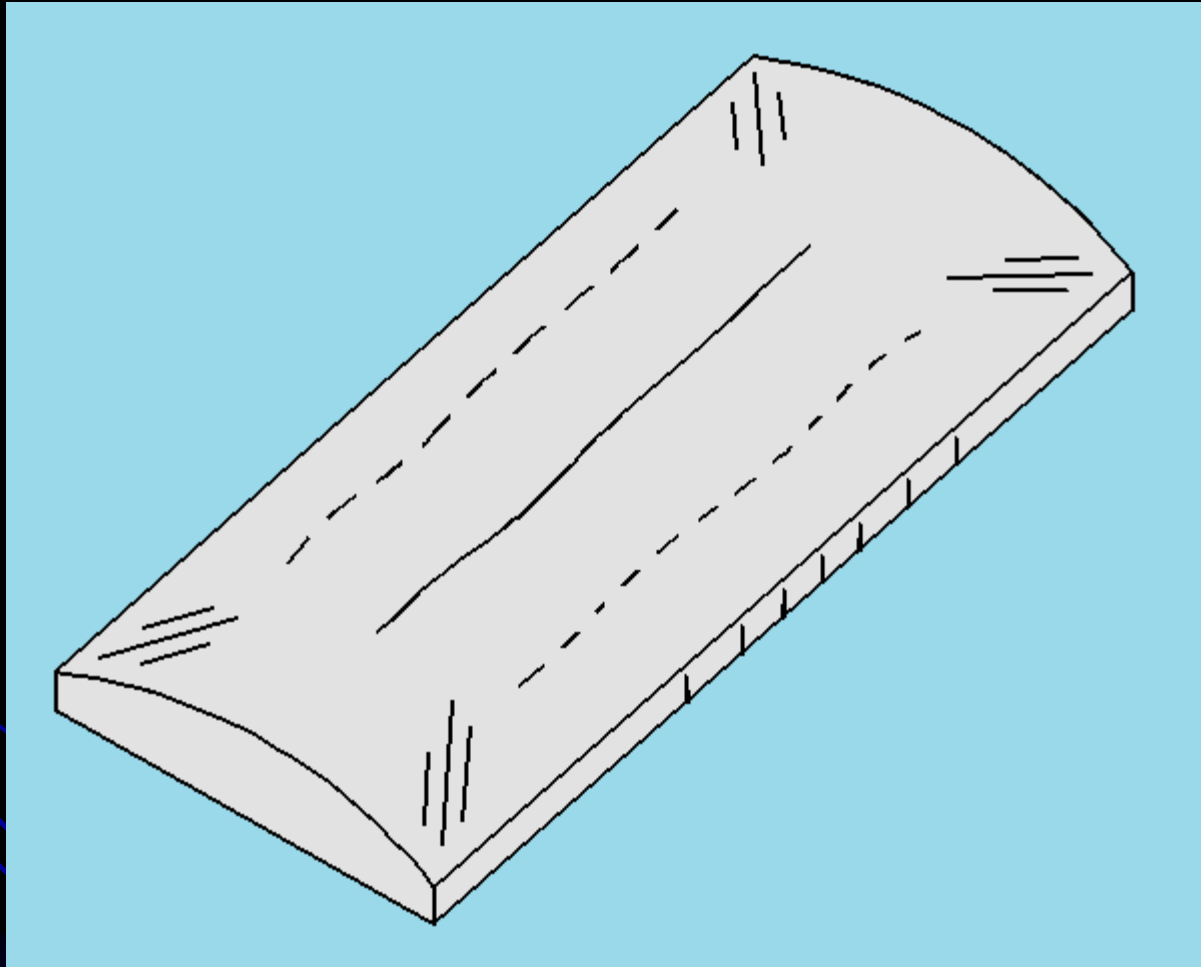


РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК



В общем случае в поле оболочки действуют все компоненты НДС.

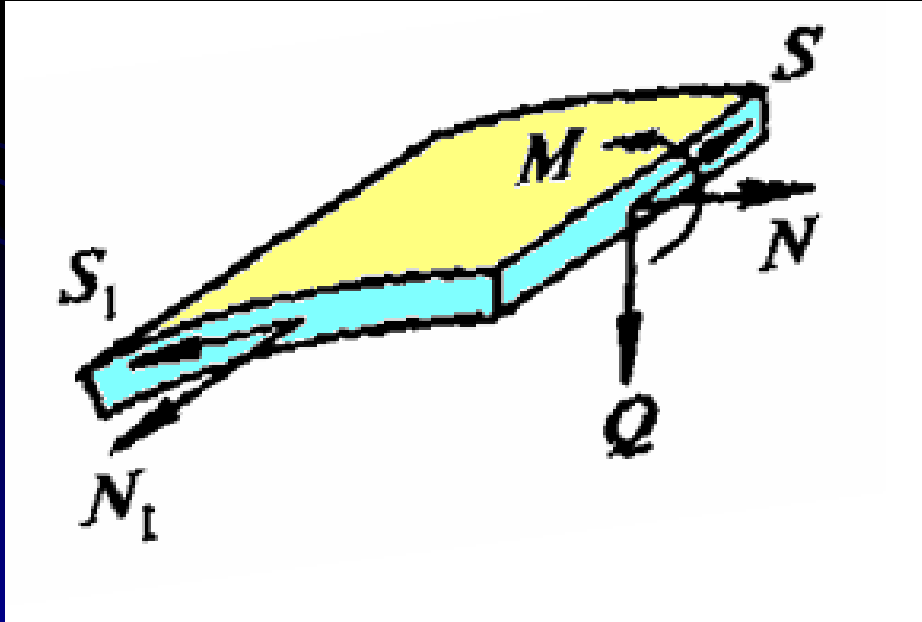
Характер трещинообразования в длинной оболочке по результатам испытаний имеет вид:



Очевидно, что не все компоненты НДС оказывают влияние на ее работу.

В длинных оболочках, ввиду малости, некоторые из внутренних усилий не оказывает влияния на работу конструкции.

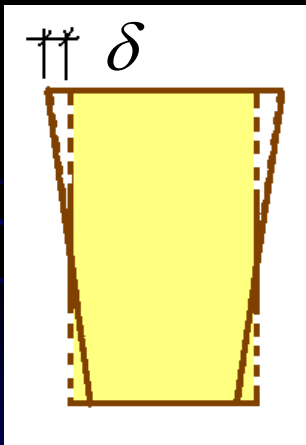
По этому определение усилий в длинных цилиндрических оболочках и складках рекомендуется производить в соответствии с **полумоментной** теорией и учетом деформаций поперечного контура.



Усилия, учитываемые в **полумоментной** теории

Длинная цилиндрическая оболочка работает в целом подобно балке пролетом L_1 с поперечным сечением в виде тонкостенного профиля шириной, равной длине волны L_2 .

Но, в балках, рассчитываемых согласно теории изгиба, излагаемой в курсе сопротивления материалов, контур поперечного сечения элемента считается недеформируемым, в то время как в тонкостенных сечениях он заметно деформируется.



Деформации контура тонкостенного профиля оболочки объясняются действием изгибающих моментов, действующих вдоль волны.

При определенных условиях:

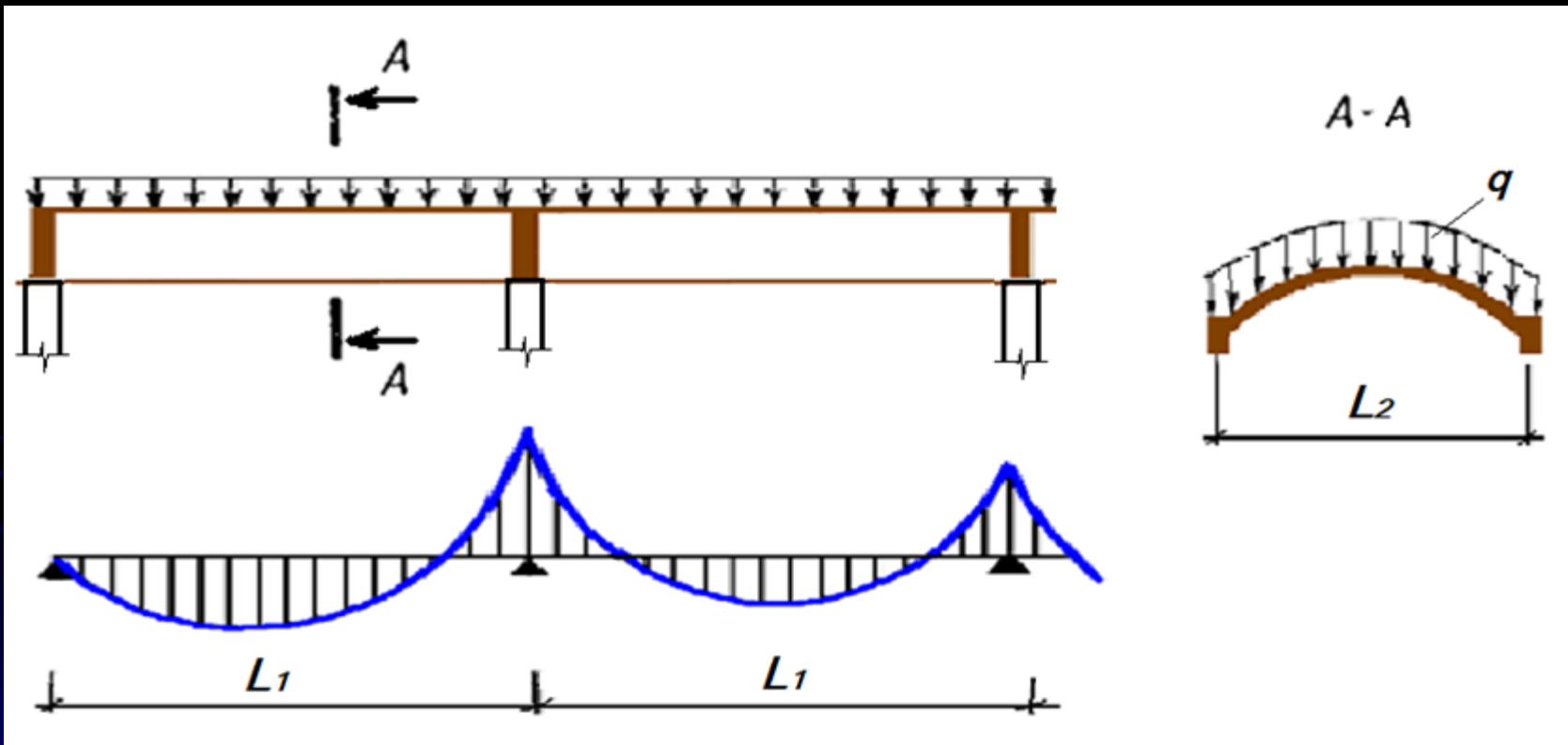
- покрытие оперто по углам;
- нагрузка равномерно распределенная;
- отношение $L_1/L_2 > 3$ для крайних волн;
- отношение $L_1/L_2 > 2$ для промежуточных волн.

Оболочку можно рассчитывать **как балку** пролетом L_1 лоткообразного сечения шириной L_2 и высотой h .

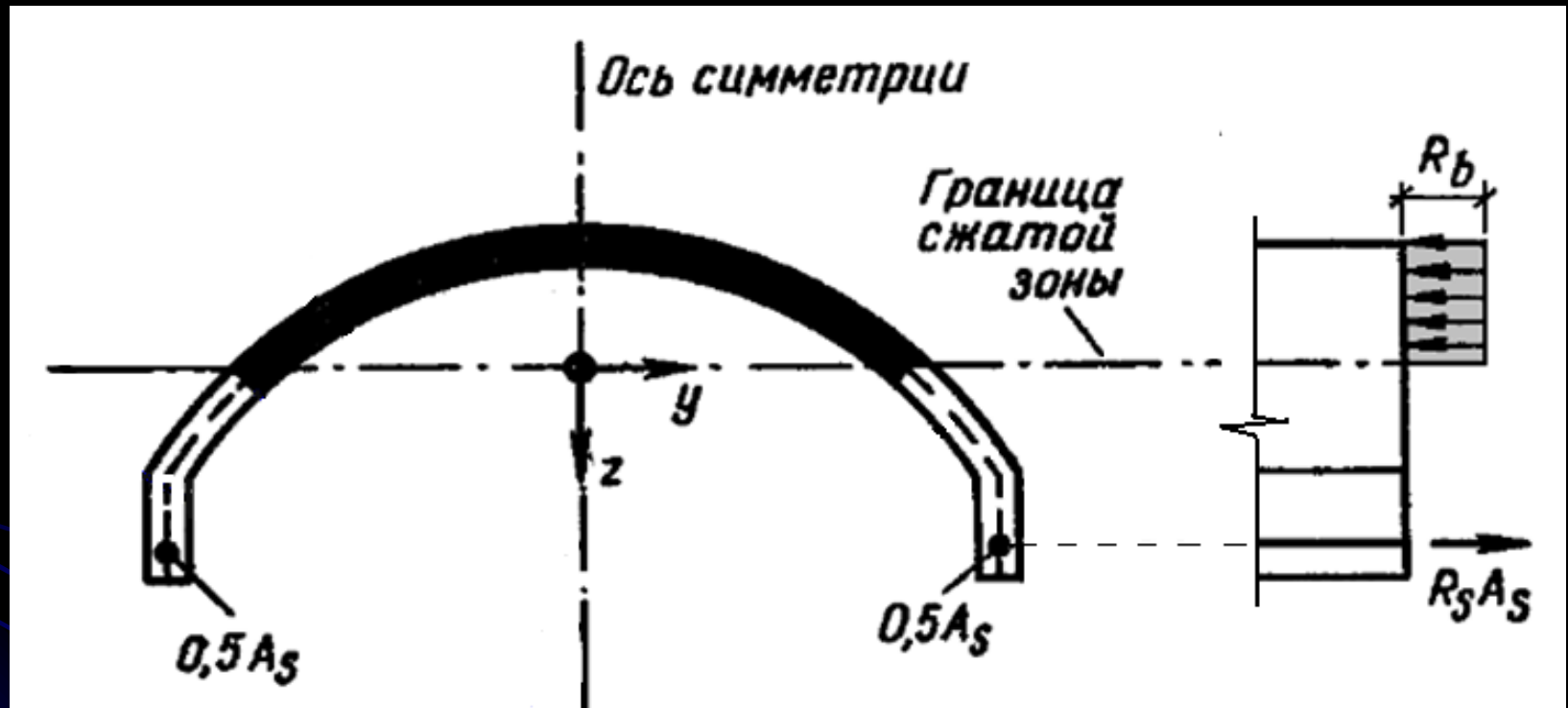
В остальных случаях оболочку рассчитывают как упругую пространственно деформируемую систему.

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ

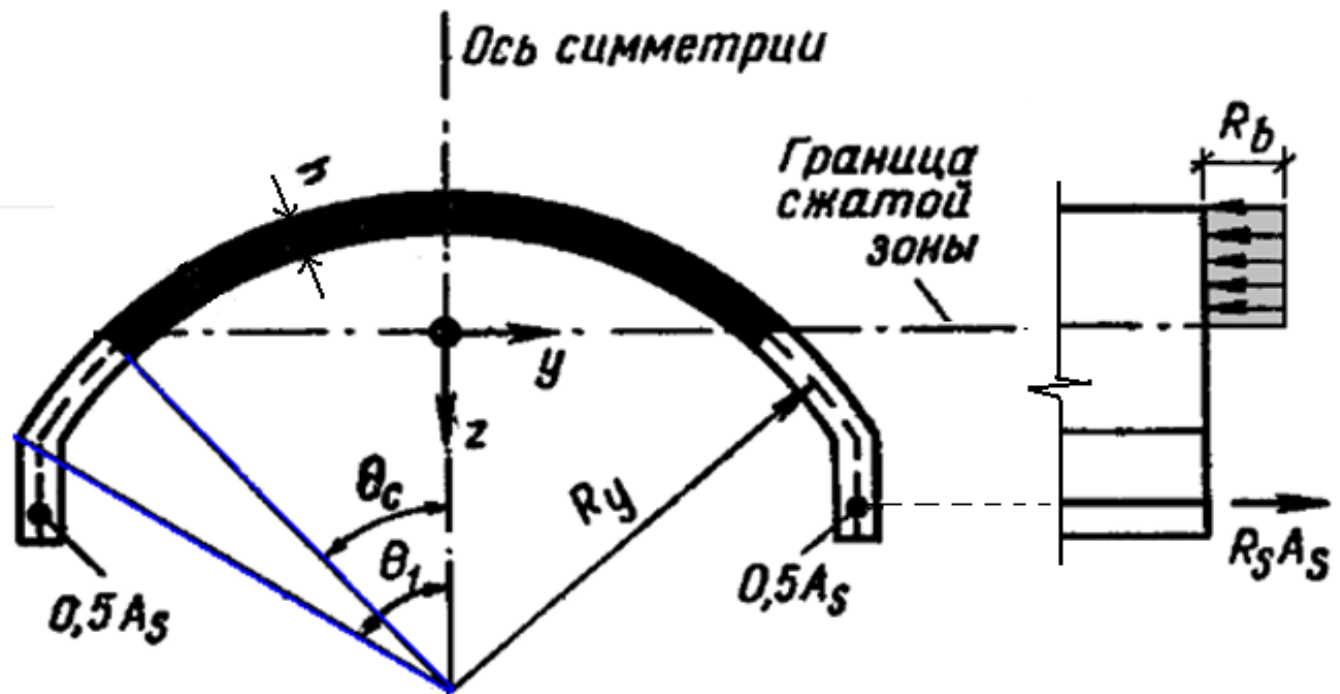
прочности по стадии предельного равновесия как железобетонной балки.



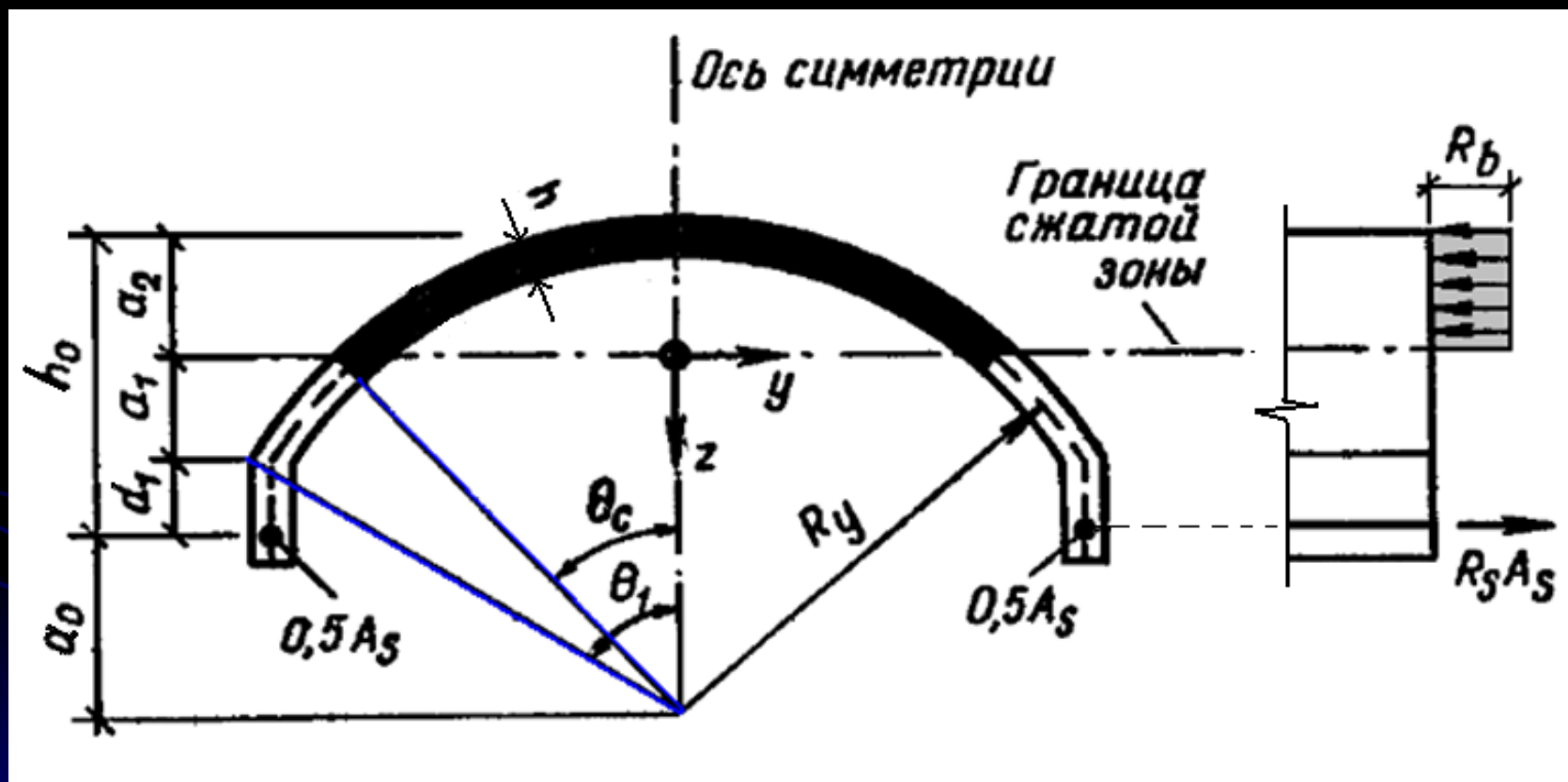
Поперечное сечение балки (оболочки)



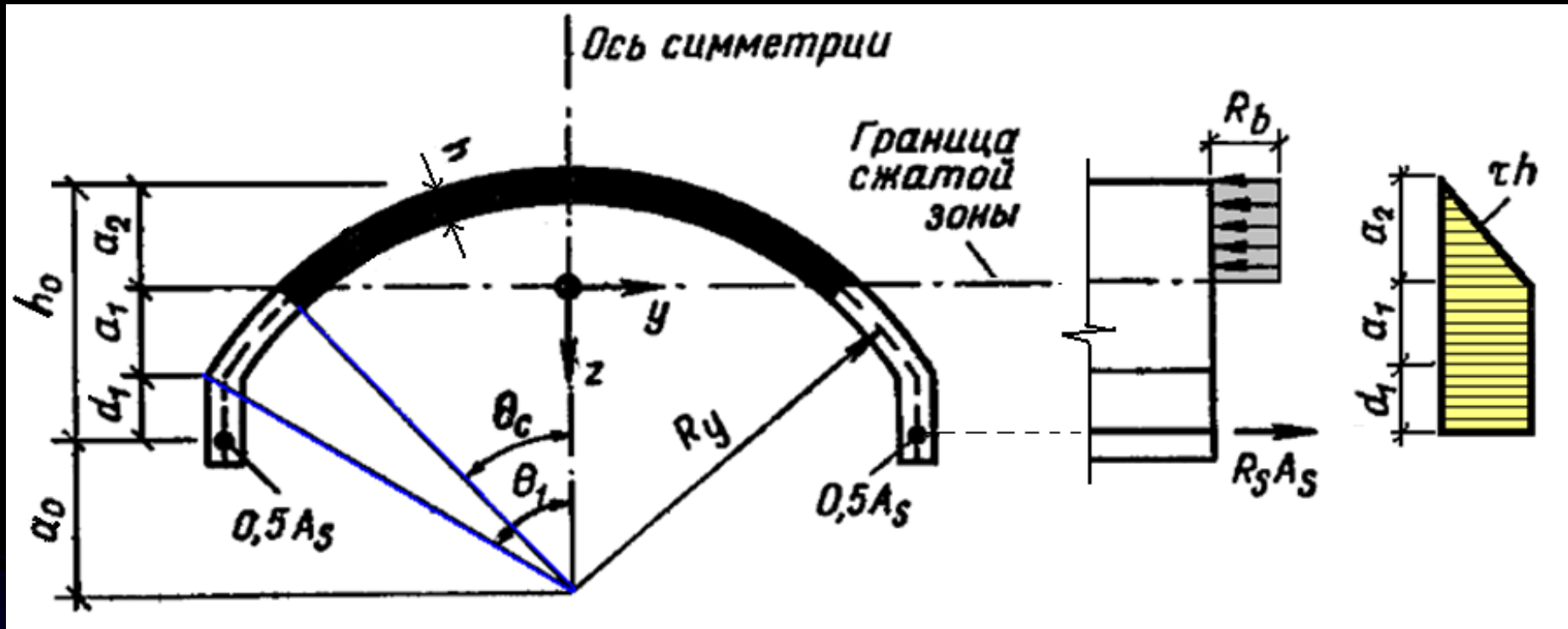
Поперечное сечение балки (оболочки)



Поперечное сечение балки (оболочки)



Поперечное сечение балки (оболочки)



Сумма проекций всех сил на нормаль к сечению дает возможность определить положение нейтральной линии (центральный угол $2\theta_c$):

$$2 \cdot \theta_c \cdot R_y \cdot h \cdot R_b = R_s \cdot A_s \quad (1)$$

Уравнение суммы моментов всех сил относительно центра круговой части сечения используют для определения несущей способности

$$M \leq 0.8(2 \cdot R_b \cdot h \cdot R_y^2 \sin \theta_c - a_0 \cdot R_s \cdot A_s) \quad (2)$$

при подборе арматуры из совместного решения (1) и (2)
найдем уравнение для определения угла $2\theta_c$

$$\sin \theta_c - \frac{a_0 \cdot \theta_c}{R_y} - \frac{M}{1.6 \cdot R_b \cdot h \cdot R_y^2} = 0$$

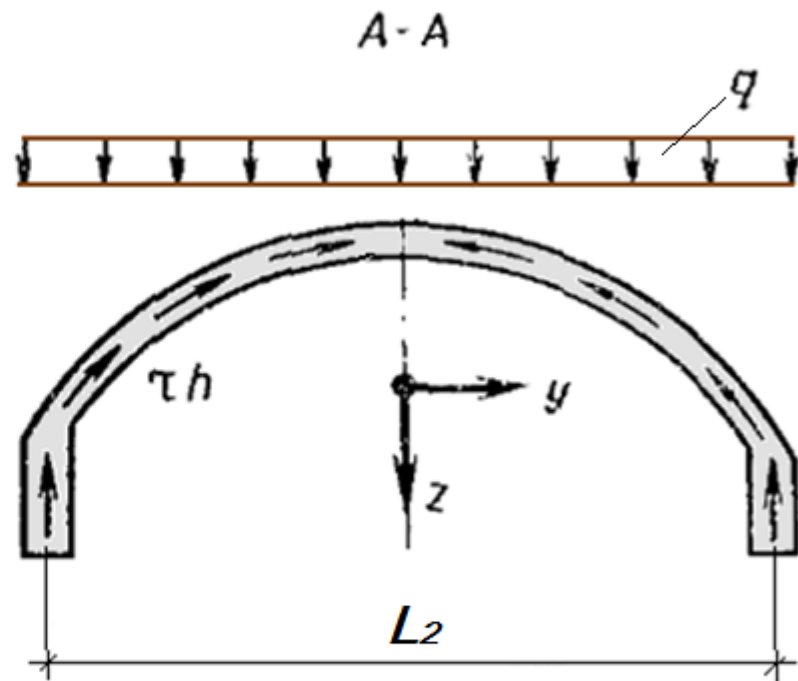
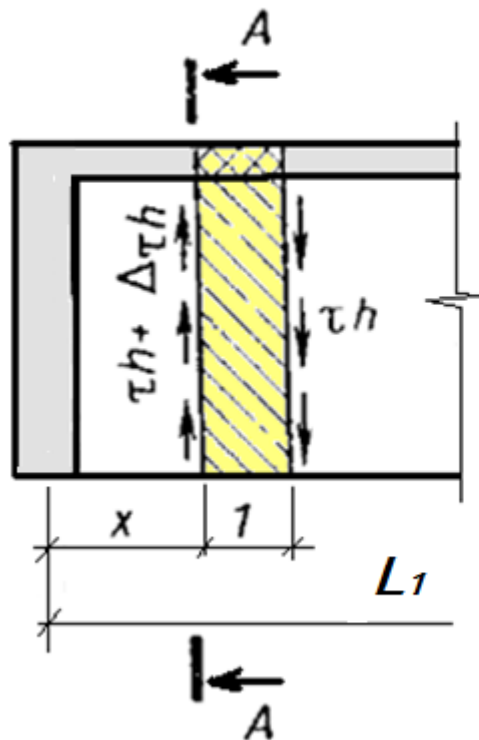
площадь арматуры определим из (1)

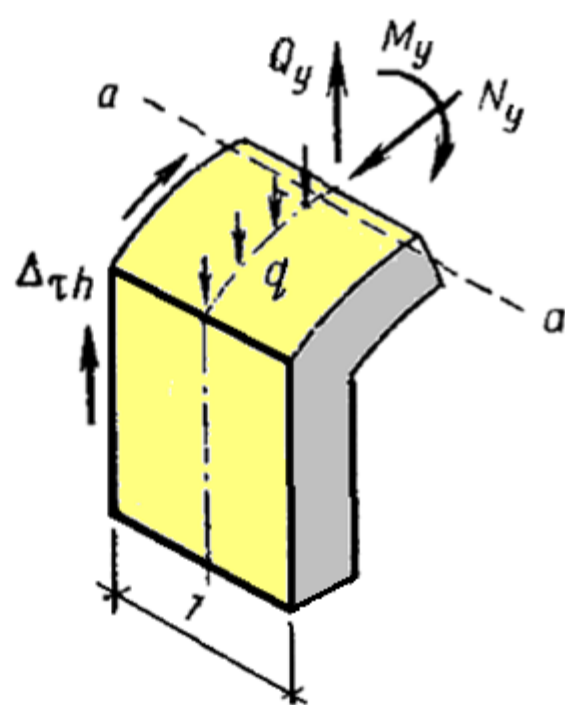
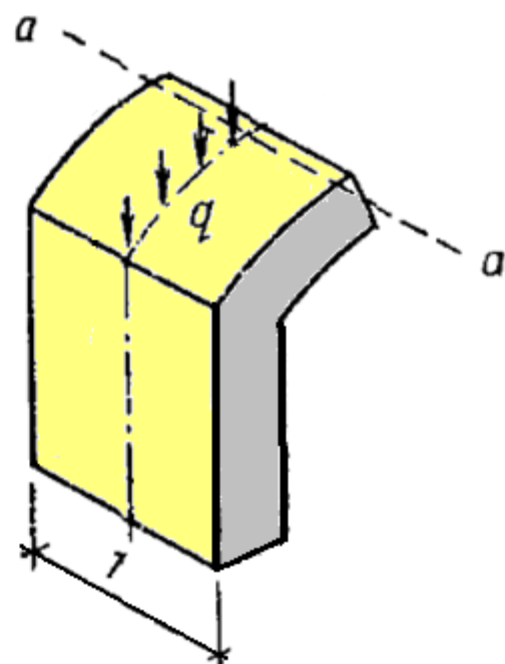
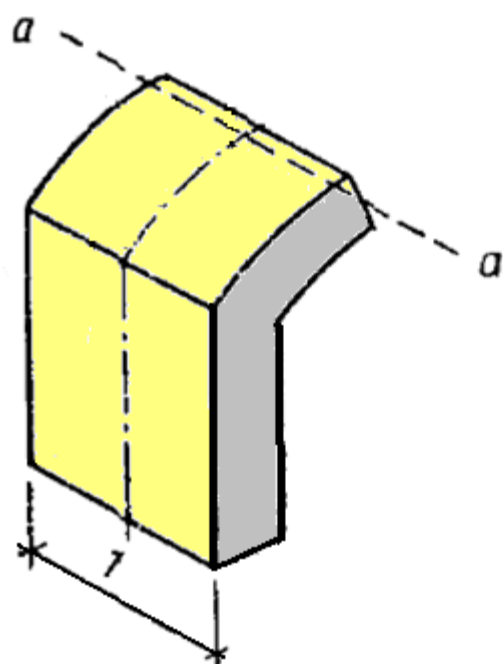
$$A_s = \frac{2R_b \theta_c R_y h}{R_s}$$

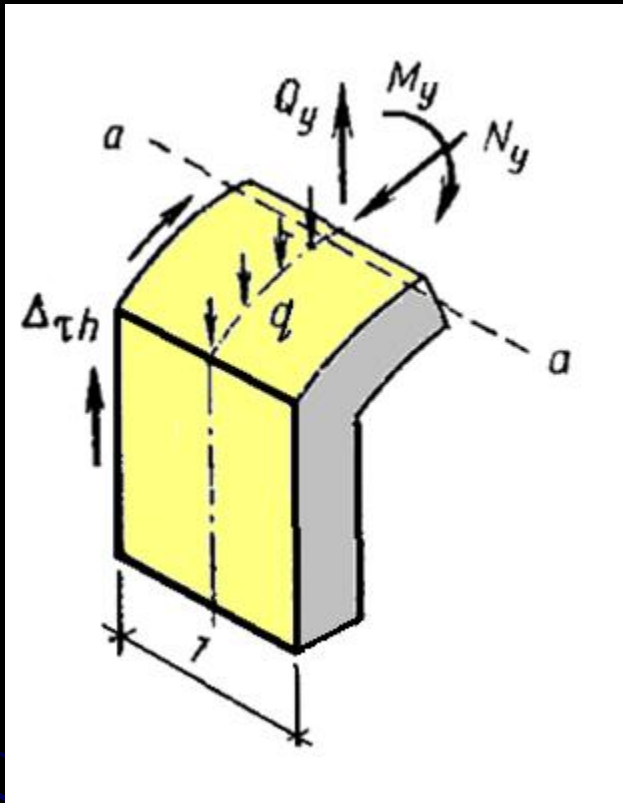
Касательные усилия в оболочке:

$$\tau \cdot h = \frac{Q \cdot S}{I}$$

Для определения моментов, действующих вдоль волны оболочки рассмотрим условия равновесия полосы единичной длины



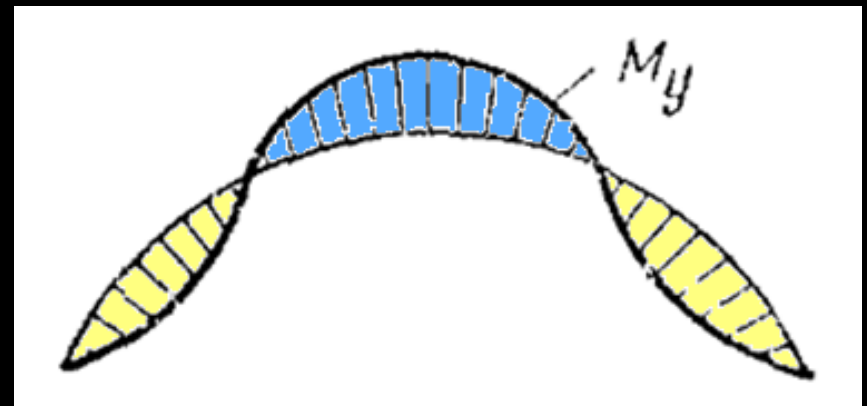




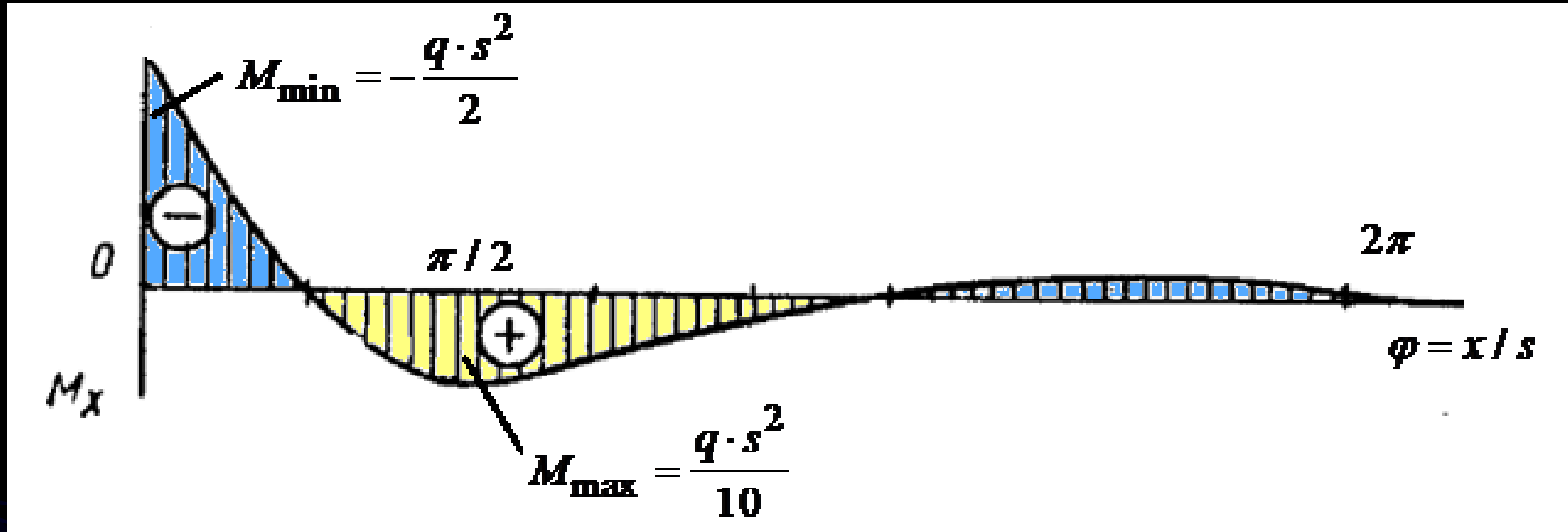
Нагрузка q ,
разность касательных
напряжений $\Delta\tau h$
и усилия M_y , Q_y и N_y
на выделенной полосе
находятся в равновесии.

Момент M_y определяют
как сумму моментов от q и $\Delta\tau h$
относительно оси $a - a$.

Эпюра моментов вдоль
волны оболочки имеет вид:



Вдоль пролета действуют местные моменты M_x

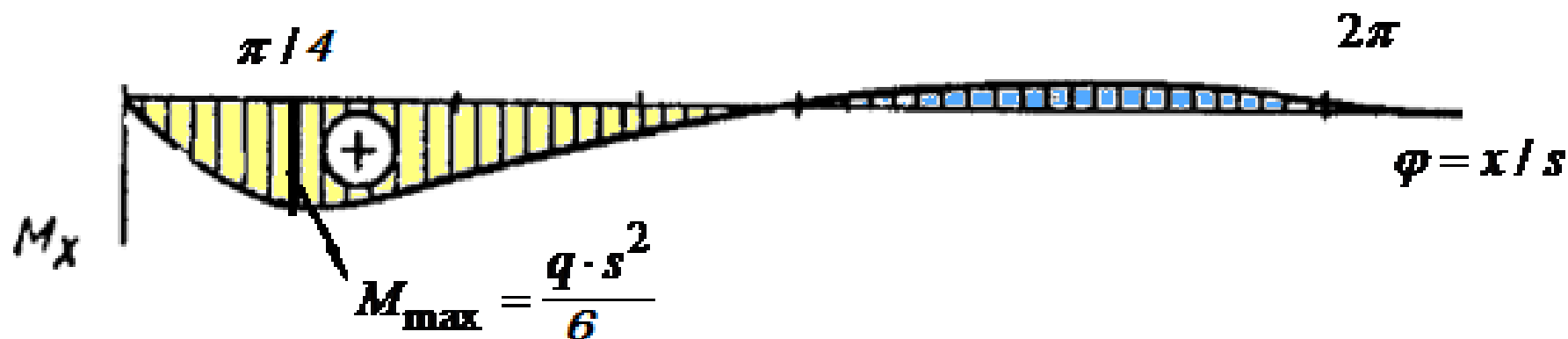


$$M_x = \frac{q}{2} s^2 \cdot (e^{-\varphi} \cos \varphi - e^{-\varphi} \sin \varphi),$$

где : $\varphi = x/s$;

$s = 0,76 \sqrt{R \cdot \delta}$ - упругая характеристика стенки.

При шарнирном опирании оболочки на диафрагмы (сборный вариант)



Эти моменты M_x возникают вблизи диафрагм и носят локальный характер – весьма быстро затухают по мере удаления от диафрагмы.

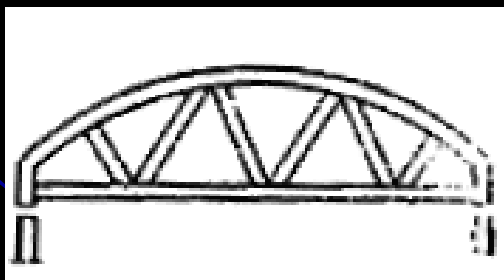
ТИПЫ ДИАФРАГМ



Арка



Безраскосная ферма



Сегментная ферма

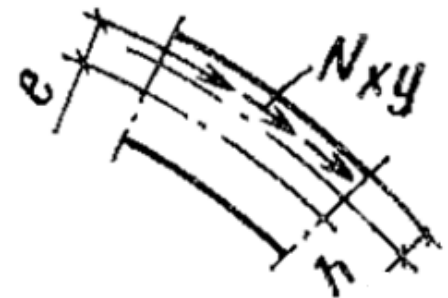
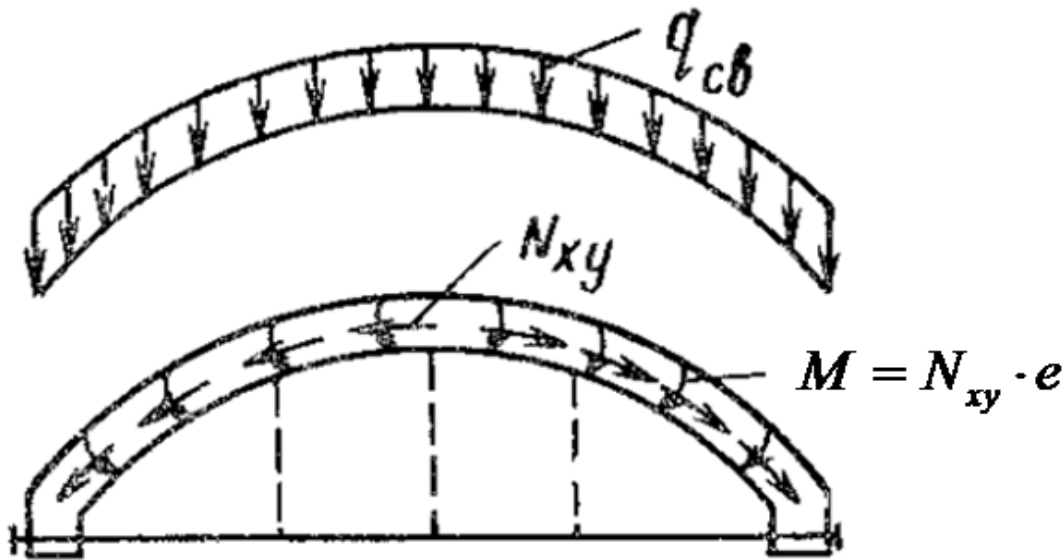


Тонкостенная балка

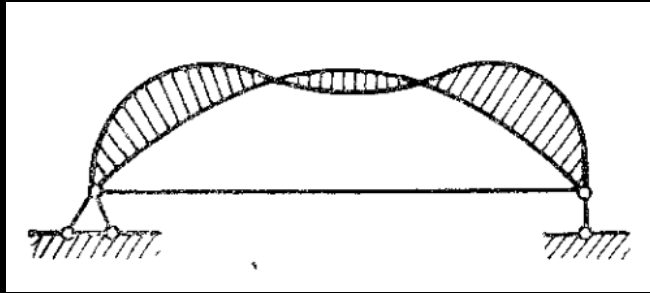
На диафрагмы с оболочки передаются касательные усилия

$$N_{xy} = \tau \cdot h,$$

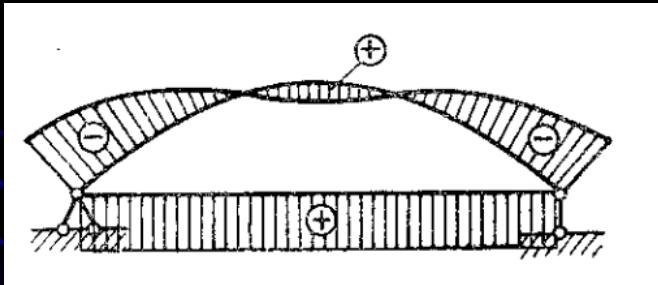
действующие на уровне срединной поверхности оболочки и
собственный вес диафрагмы $q_{св}$.



На возникающие от этих нагрузок внутренние усилия и выполняется расчет диафрагмы.



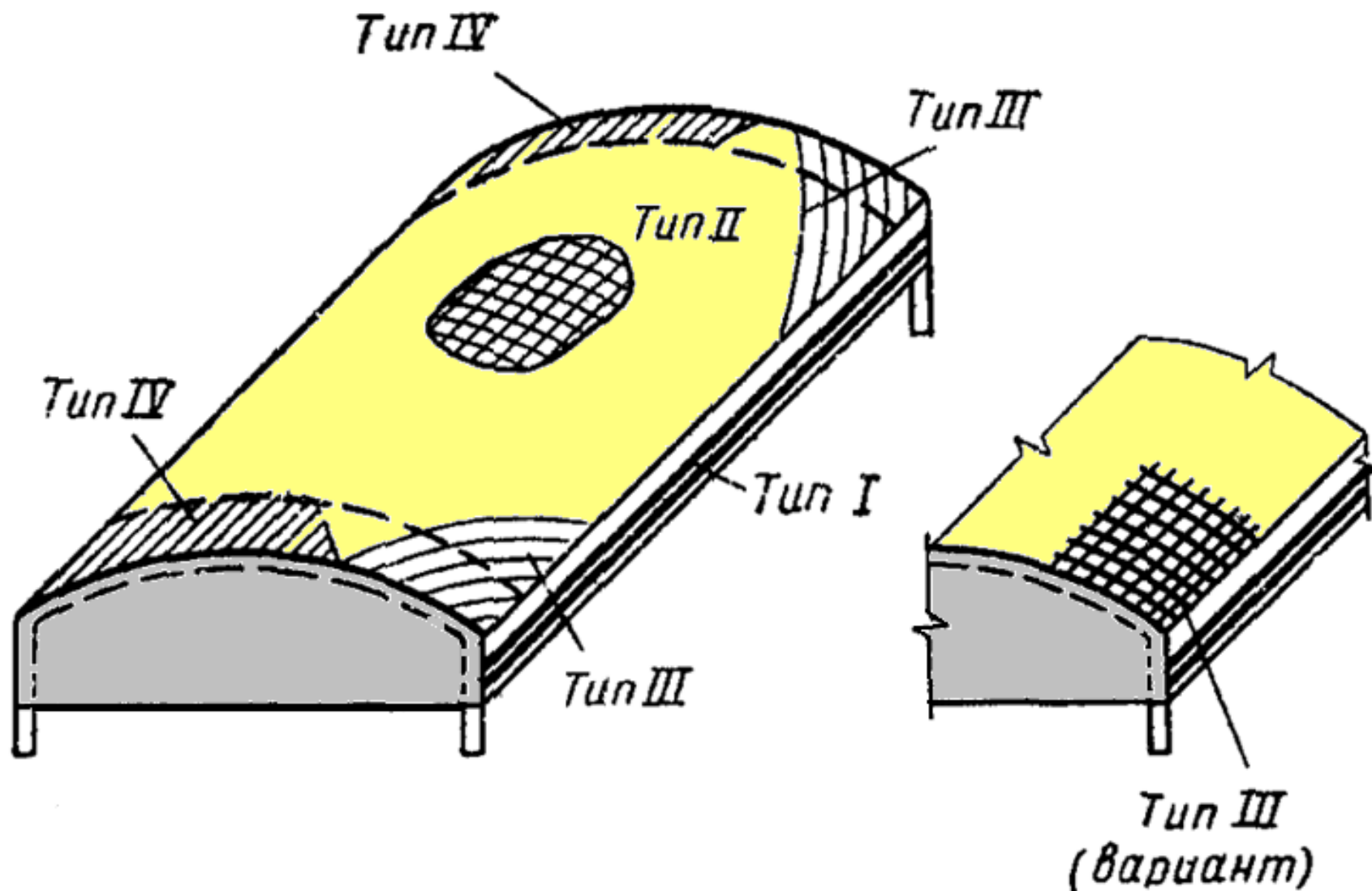
Эпюра моментов M



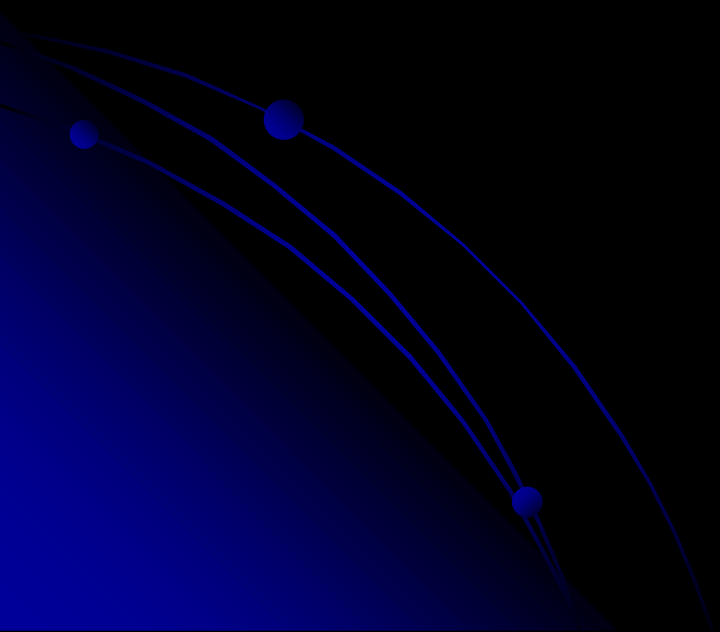
Эпюра продольных сил N

Диафрагмы в виде арок и ферм рассчитывают как плоские стержневые системы обычными методами строительной механики и ЖБК.

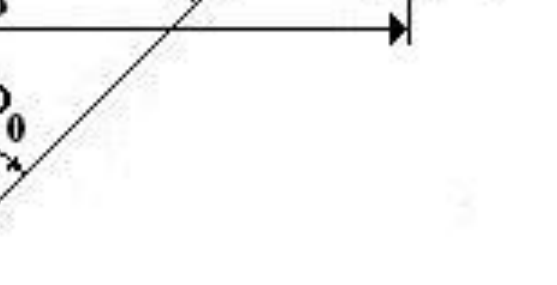
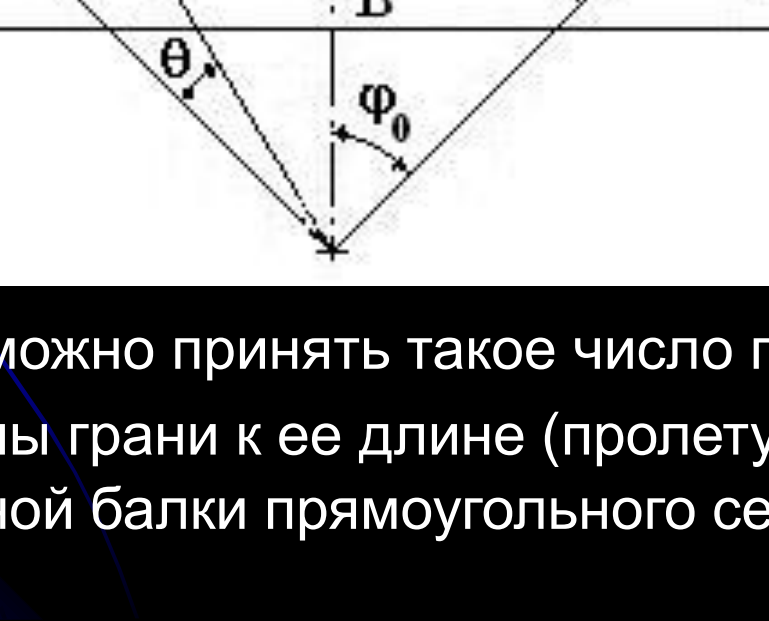
Принцип армирования длинных оболочек



РАСЧЕТ ДЛИННЫХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИЙ КОНТУРА ПО МЕТОДУ В.З. ВЛАСОВА



В общем случае м
отношении ширин
же, как для обычн



такое число граней, чтобы
длине (пролету L_1 было такое
прямоугольного сечения

Для круговой цилиндрической оболочки радиусом R и центральным углом дуги $2\varphi_0$ ширина грани **семигранной** вписанной складки определяется по формуле

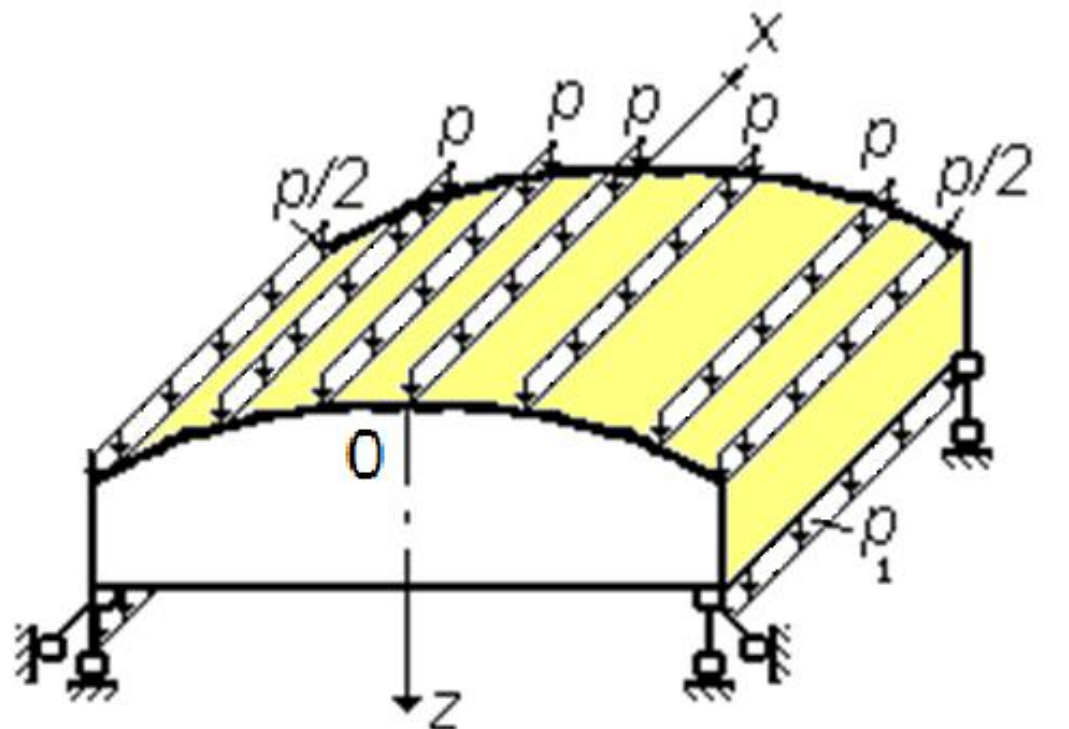
$$d = 2R \sin(\theta/2)$$

где: $\theta = 2\frac{\varphi_0}{7}$ $\varphi_0 = 2\arctg(2f/B)$ $R = \frac{B^2}{8f} + \frac{f}{2}$

Каждая грань заменяющей складки рассматривается как тонкая и длинная плита, которая не сопротивляется кручению и изгибу вдоль пролета оболочки.

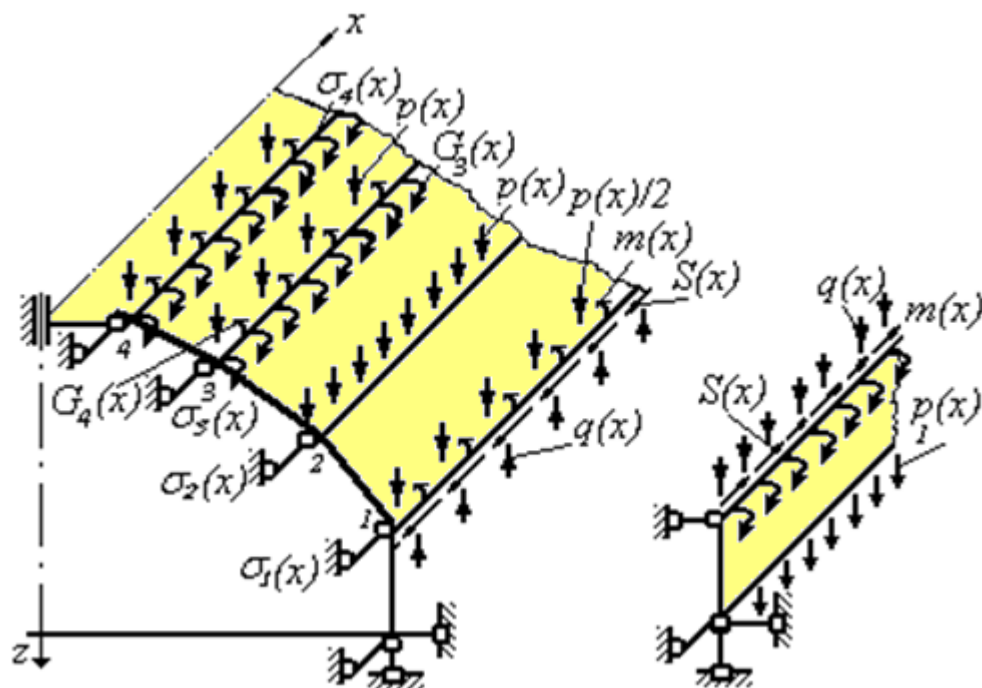
Не учитываются также деформации сдвига граней в своей плоскости.

Предполагается, что вся нагрузка, действующая на ограждающую часть оболочки, сосредоточена на ребрах складки.



Расчетная схема оболочки

Основная система смешанного метода



Основная система метода сил образуется из расчетной путем отделения бортовых балок от складки и замены взаимных связей неизвестными усилиями , действующими по линиям разобращения

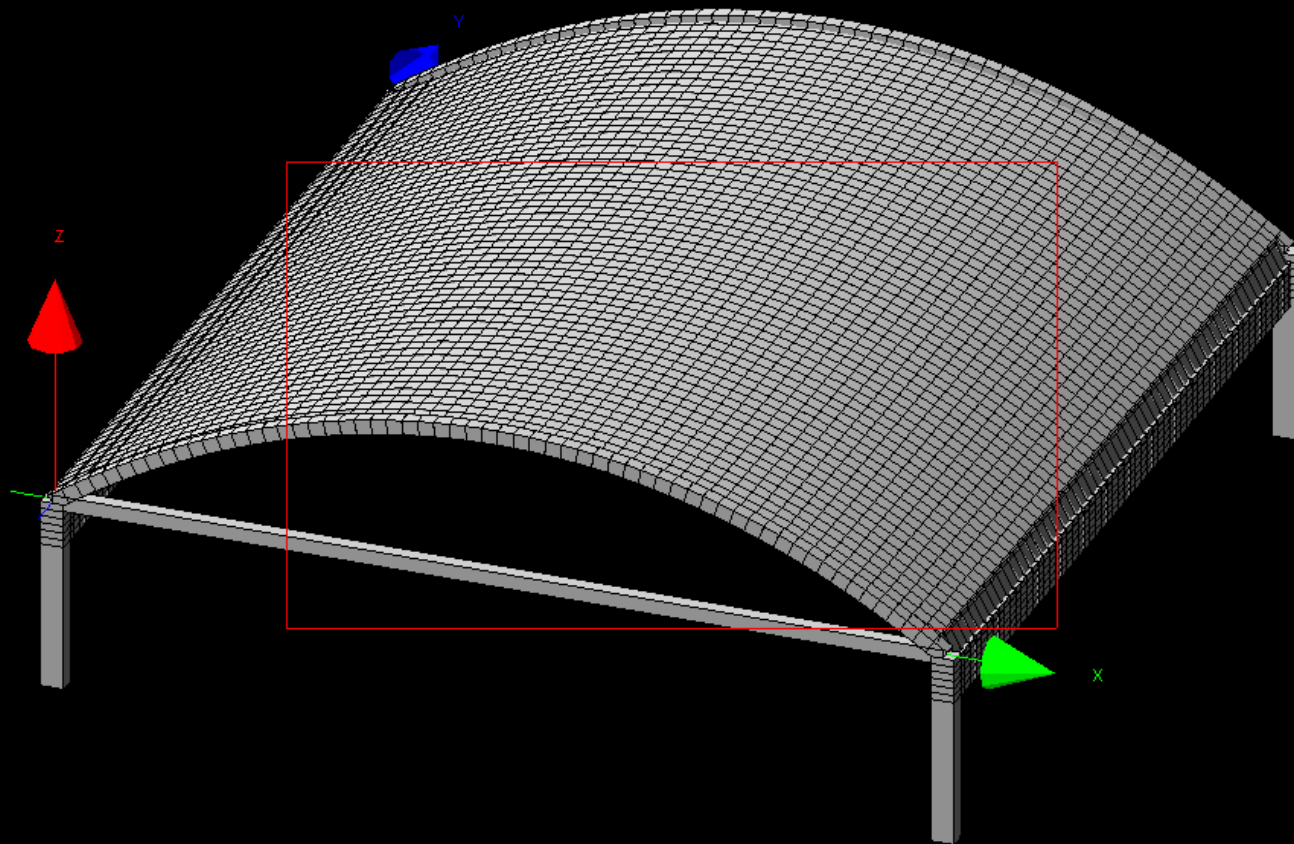
Неизвестные усилия определяются из системы канонических уравнений

$$\left. \begin{aligned} A_{SS}S(x) + A_{Sq}q(x) + A_{Sm}m(x) + A_{SP} &= 0 \\ A_{qS}S(x) + A_{qq}q(x) + A_{qm}m(x) + A_{qP} &= 0 \\ A_{mS}S(x) + A_{mq}q(x) + A_{mm}m(x) + A_{mP} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

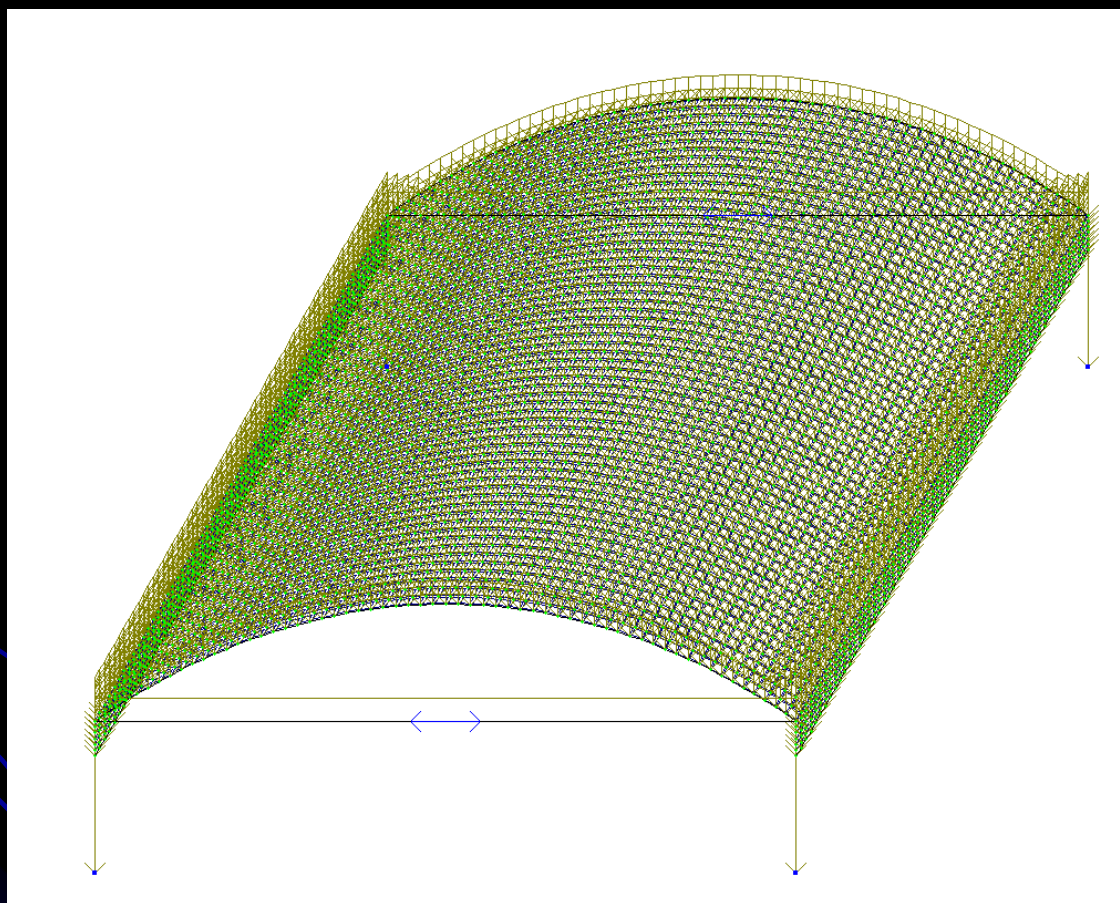
Определение шести неизвестных в смешанном методе осуществляется путем решения системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} r_{11}\sigma_1^a(x) + r_{12}\sigma_2^a(x) + r_{13}\sigma_3^a(x) + r_{14}\sigma_4^a(x) + r_{15}\sigma_5^a(x) + r_{16}\sigma_6^a(x) + r_{1a}a(x) &= 0; \\ r_{21}\sigma_1^a(x) + r_{22}\sigma_2^a(x) + r_{23}\sigma_3^a(x) + r_{24}\sigma_4^a(x) + r_{25}\sigma_5^a(x) + r_{26}\sigma_6^a(x) + r_{2a}a(x) &= 0; \\ r_{31}\sigma_1^a(x) + r_{32}\sigma_2^a(x) + r_{33}\sigma_3^a(x) + r_{34}\sigma_4^a(x) + r_{35}\sigma_5^a(x) + r_{36}\sigma_6^a(x) + r_{3a}a(x) &= 0; \\ r_{41}\sigma_1^a(x) + r_{42}\sigma_2^a(x) + r_{43}\sigma_3^a(x) + r_{44}\sigma_4^a(x) + r_{45}\sigma_5^a(x) + r_{46}\sigma_6^a(x) + r_{4a}a(x) &= 0; \\ r_{51}\sigma_1^a(x) + r_{52}\sigma_2^a(x) + r_{53}\sigma_3^a(x) + r_{54}\sigma_4^a(x) + r_{55}\sigma_5^a(x) + r_{56}\sigma_6^a(x) + r_{5a}a(x) &= 0; \\ r_{61}\sigma_1^a(x) + r_{62}\sigma_2^a(x) + r_{63}\sigma_3^a(x) + r_{64}\sigma_4^a(x) + r_{65}\sigma_5^a(x) + r_{66}\sigma_6^a(x) + r_{6a}a(x) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Расчет оболочек в современных ПК









Расчет оболочек в современных ПК



Расчет оболочек в современных ПК

Фильтр для элементов

☐ По номерам КЭ

☐ По виду КЭ

☒ По типу КЭ

Тип 410 - универсальный прост...
Тип 441 - прямоугольный КЭ об...
Тип 444 - четырехугольный КЭ ...

☐ По ориентации КЭ

☐ $\parallel XOZ$ ☐ $\parallel X$
☐ $\parallel XOY$ ☐ $\parallel Y$
☐ $\parallel YOZ$ ☐ $\parallel Z$

☐ Угол согласов. ☐ Оси ортотропии

☐ Учитывать объекты СЭ

☒ Инверсно

Задание жесткости для пластин

☐ Учет ортотропии

$E2$
 $V21$
 V G




H см R_0 т/м³

Учет нелинейности ☒

Тип КЭ
☒ Плита, оболочка
☐ Балка-стенка

Комментарий

Цвет

Расчет оболочек в современных ПК

Законы нелинейного деформирования материалов

Основной материал | Армирующий материал

☒ Учитывать армирующий материал
☐ Учитывать ползучесть бетона

Закон нелинейного деформирования: 14 - кусочно-линейный закон деформирования

№ записи: 1 [Новая] [Копировать] [Удалить]

Загрузить закон из файла

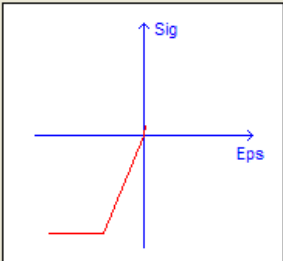
Комментарий

Параметры закона нелинейного деформирования

Деформация	Напряжение
-0.0035	-1887
-0.0015	-1886
0	0
8E-005	158
0.00015	159

Нарисовать

$\sigma - \tau/\text{м}^2$



Теории прочности (для КЭ пластин)

Наибольших главных

Предел. напряжение

Растяжение:

Сохранить закон в файл

☒ Текущий закон ☐ Все законы проекта

[Подтвердить] [Отменить] [Справка]

Законы нелинейного деформирования материалов

Основной материал | Армирующий материал

☒ Учитывать армирующий материал
☐ Учитывать ползучесть бетона

Закон нелинейного деформирования: 14 - кусочно-линейный закон деформирования

№ записи: 2 [Новая] [Копировать] [Удалить]

Загрузить закон из файла

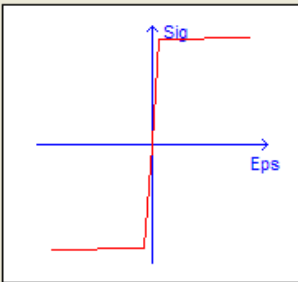
Комментарий

Параметры закона нелинейного деформирования

Деформация	Напряжение
-0.025	-40789
-0.002	-40788
0	0
0.002	40788
0.025	40789

Нарисовать

$\sigma - \tau/\text{м}^2$



Теории прочности (для КЭ пластин)

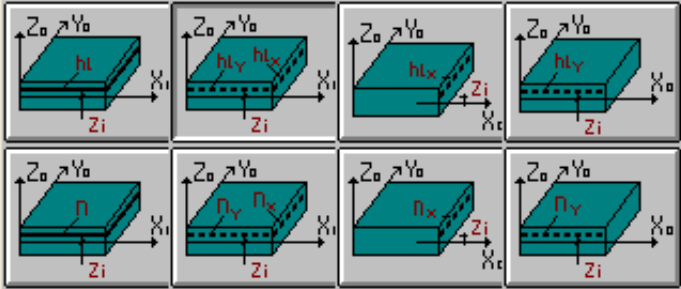
Сохранить закон в файл

☒ Текущий закон ☐ Все законы проекта

[Подтвердить] [Отменить] [Справка]

Расчет оболочек в современных ПК

Тип арматурных включений



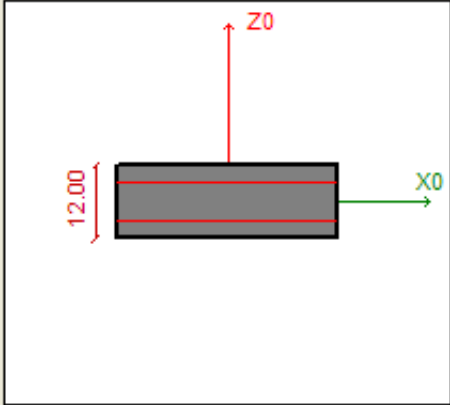
Арматура стержневого типа
(физический эквивалент сетки)

Номер слоя арматуры
1

H_y 0.05 см

H_x 0.05 см

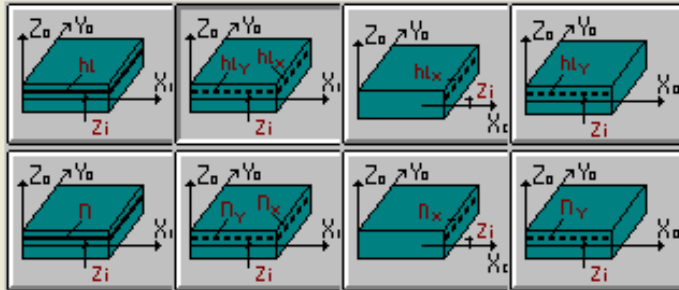
z 3.4 см



Подтвердить Отменить

Нарисовать Справка

Тип арматурных включений



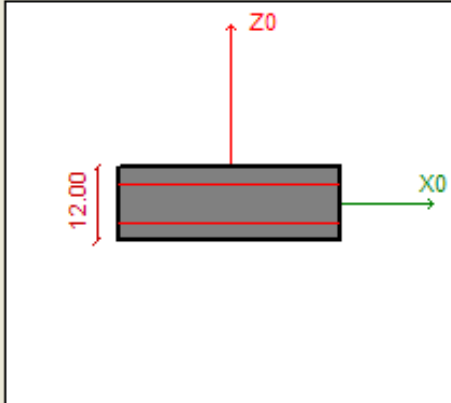
Арматура стержневого типа
(физический эквивалент сетки)

Номер слоя арматуры
2

H_y 0.05 см

H_x 0.05 см

z -3.4 см



Подтвердить Отменить

Нарисовать Справка

Расчет оболочек в современных ПК

Расчетные сочетания усилий

Строительные нормы: СНиП 2.01.07-85

Номер загрузки: 1 Собственный вес

Вид загрузки: По умолчанию

N группы объединяемых временных нагрузений: ☐

Учитывать знакопеременность: ☐

N группы взаимоисключающих нагрузений: ☐

NN сопутствующих нагрузений: ☐

Коэффициент надежности: ☐

Доля длительности: ☐

Ограничения для кранов и тормозов:

Кран: ☐ Тормоз: ☐

Сводная таблица для вычисления РСУ:

#	1 основ.	2 основ.	Особое
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№.	Имя загрузки...	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	Собственный...		
2	Равномерны...		
3	Левый снег		
4	Правый снег		
5	Ветер слева		
6	Ветер справа		

Моделирование нелинейных нагрузений конструкции

Монтаж История

Параметры Печать

N загрузки: 1

Метод расчета: (1) Простой шаговый

Минимальное число итераций: 300 Количество шагов: 5

Значения коэффициентов к наружкам по шагам:

☐ Чтение из файла

☐ Ввод и редактирование

0.2 0.2 0.2 0.2 0.2

☒ Равномерные шаги

Точность: 0.0001 Начальный шаг: 1e-009

Суммарный коэффициент: 1

Печать: Окончательный результат

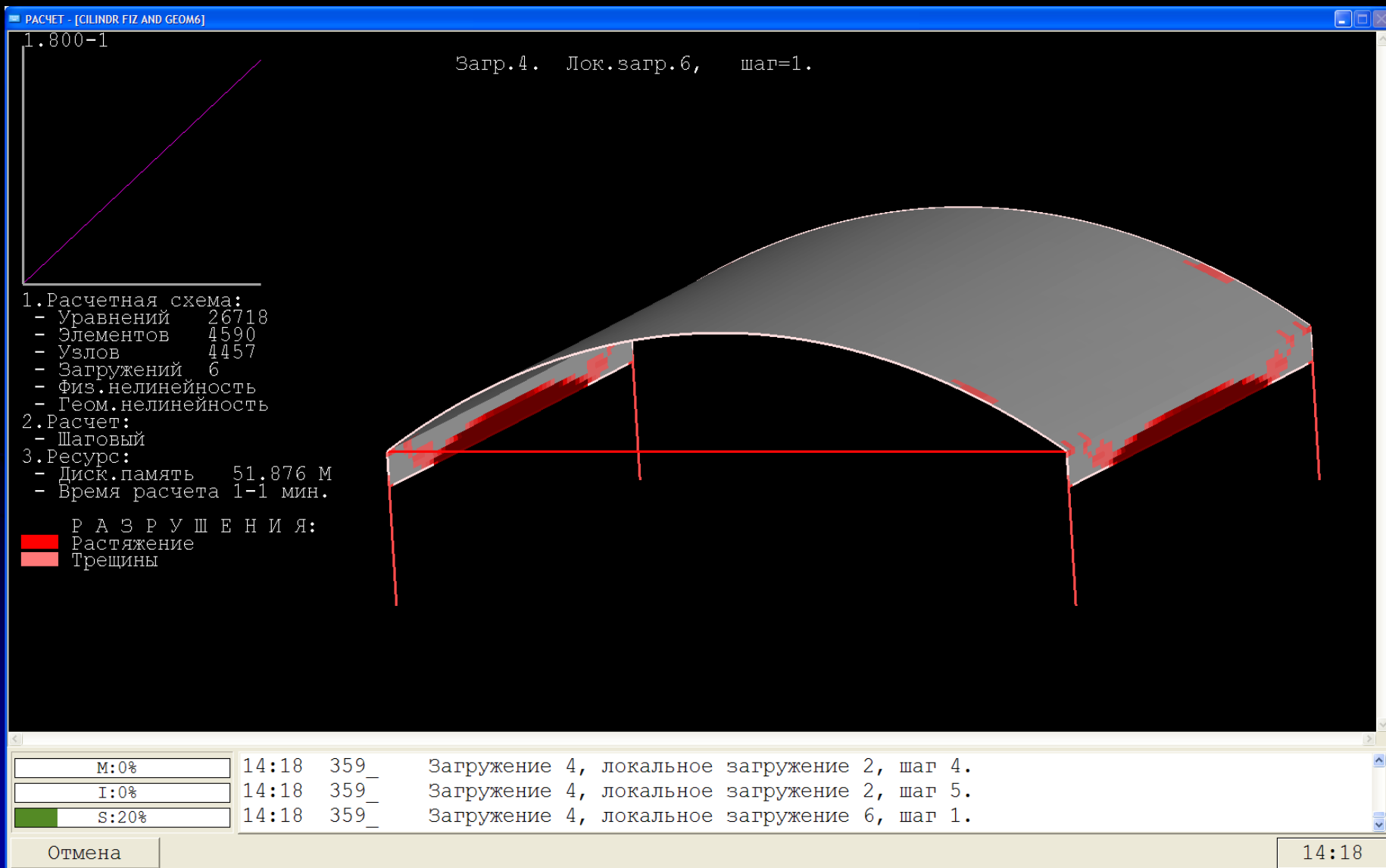
Ползунок

+

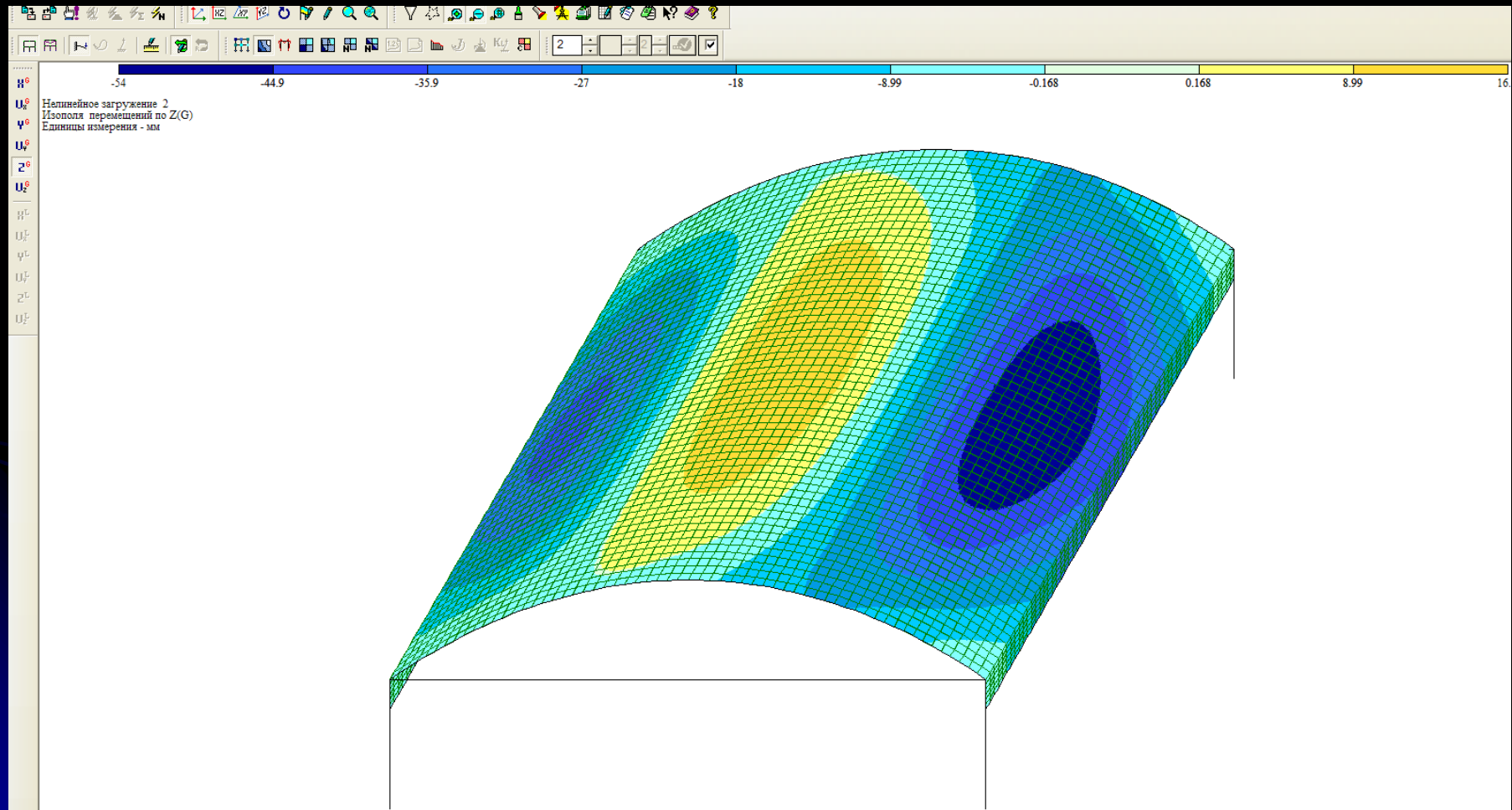
✂

?

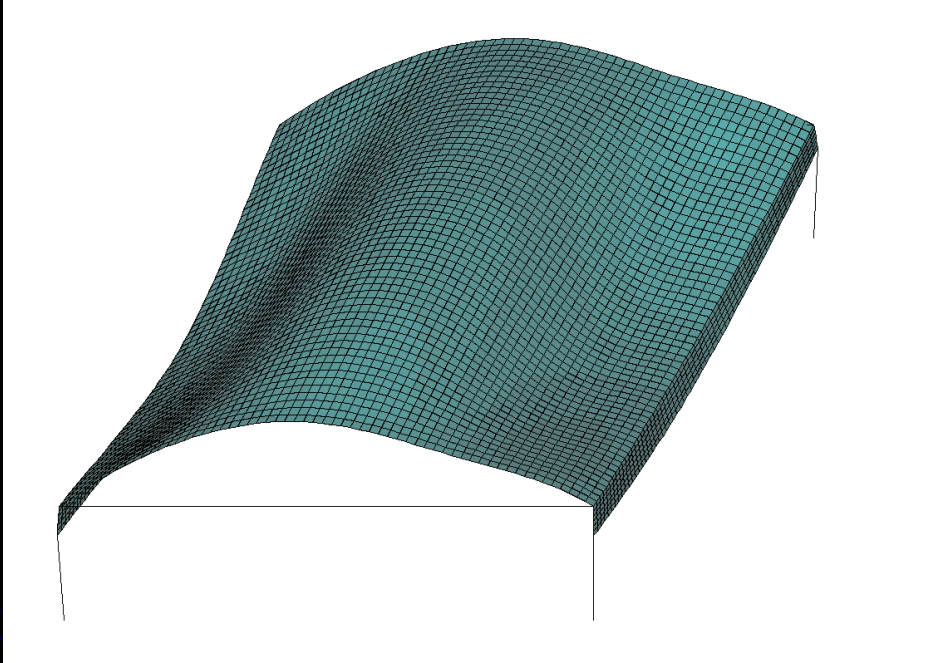
Расчет оболочек в современных ПК



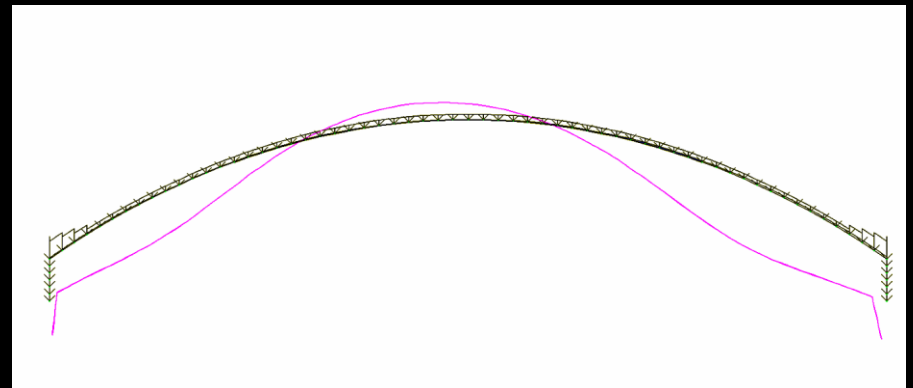
Расчет оболочек в современных ПК



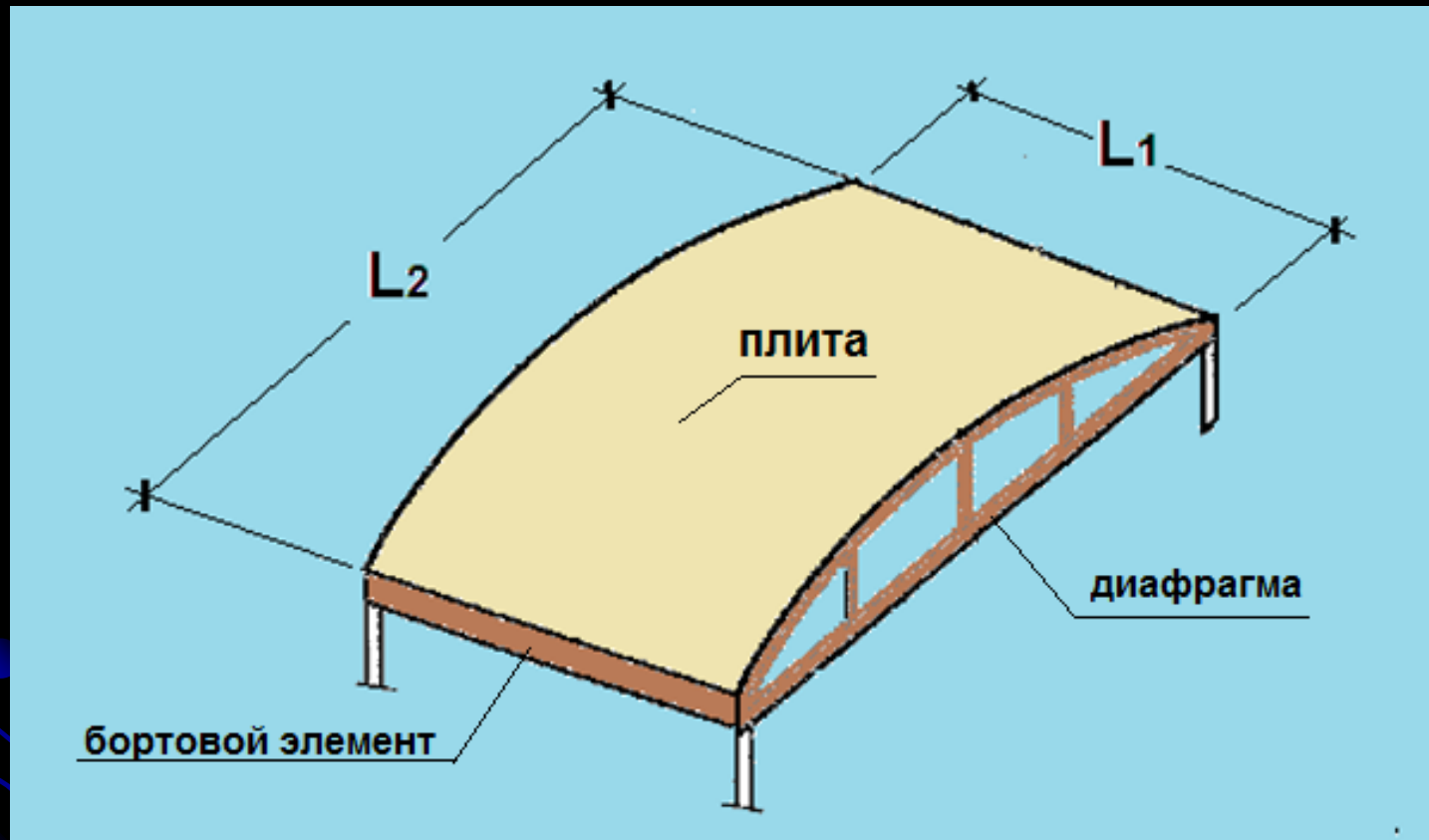
Расчет оболочек в современных ПК



Перемещения по Z



КОРОТКИЕ ОБОЛОЧКИ



Основным отличием этих оболочек от длинных является существенное влияние изгиба плиты оболочки вдоль пролета (вдоль размера L_1).

Если выполняются определенные условия, короткие оболочки можно рассчитывать по упрощенной методике.

А именно, **если:**

пролет оболочки $L_1 \leq 12\text{м}$

соотношение $L_1 / L_2 < 0.5$

длина волны $L_1 \leq 30\text{м}$

стрела подъема $f > \frac{L_2}{8}$

Плиту не рассчитывают, а принимают в соответствии с установленными опытом практическими рекомендациями:

толщина 50 – 80 мм (при пролетах 6 – 12 м соответственно);

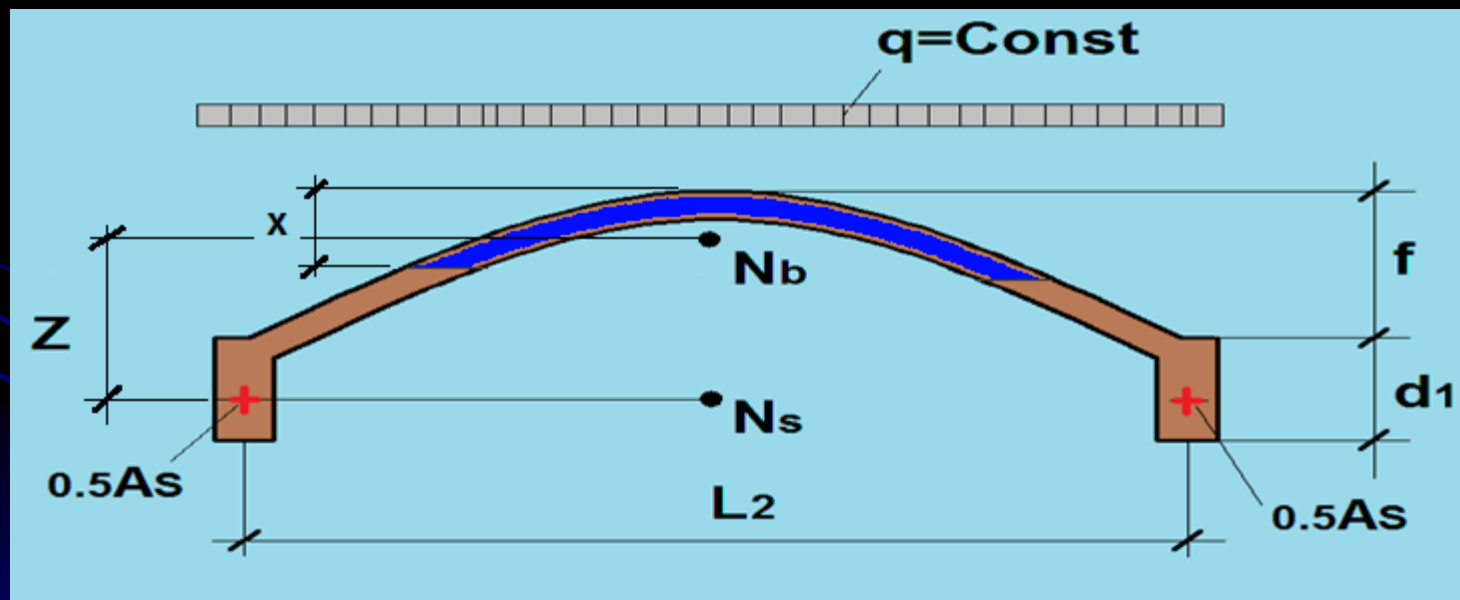
армирование сеткой из стержней $d=4\text{-}6$ мм с шагом 100 – 160 мм.

ВДОЛЬ ПРОЛЕТА (в направлении L_1)

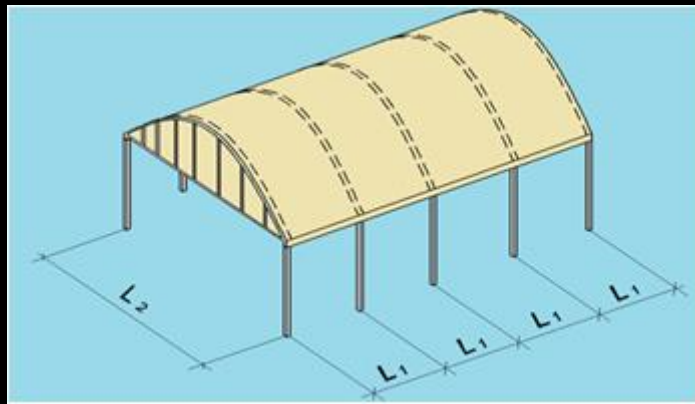
оболочку рассчитывают как балку фигурного профиля

В однопролетной одноволновой оболочке в середине пролета изгибающий момент $M = \frac{(qL_2)L_1^2}{8}$

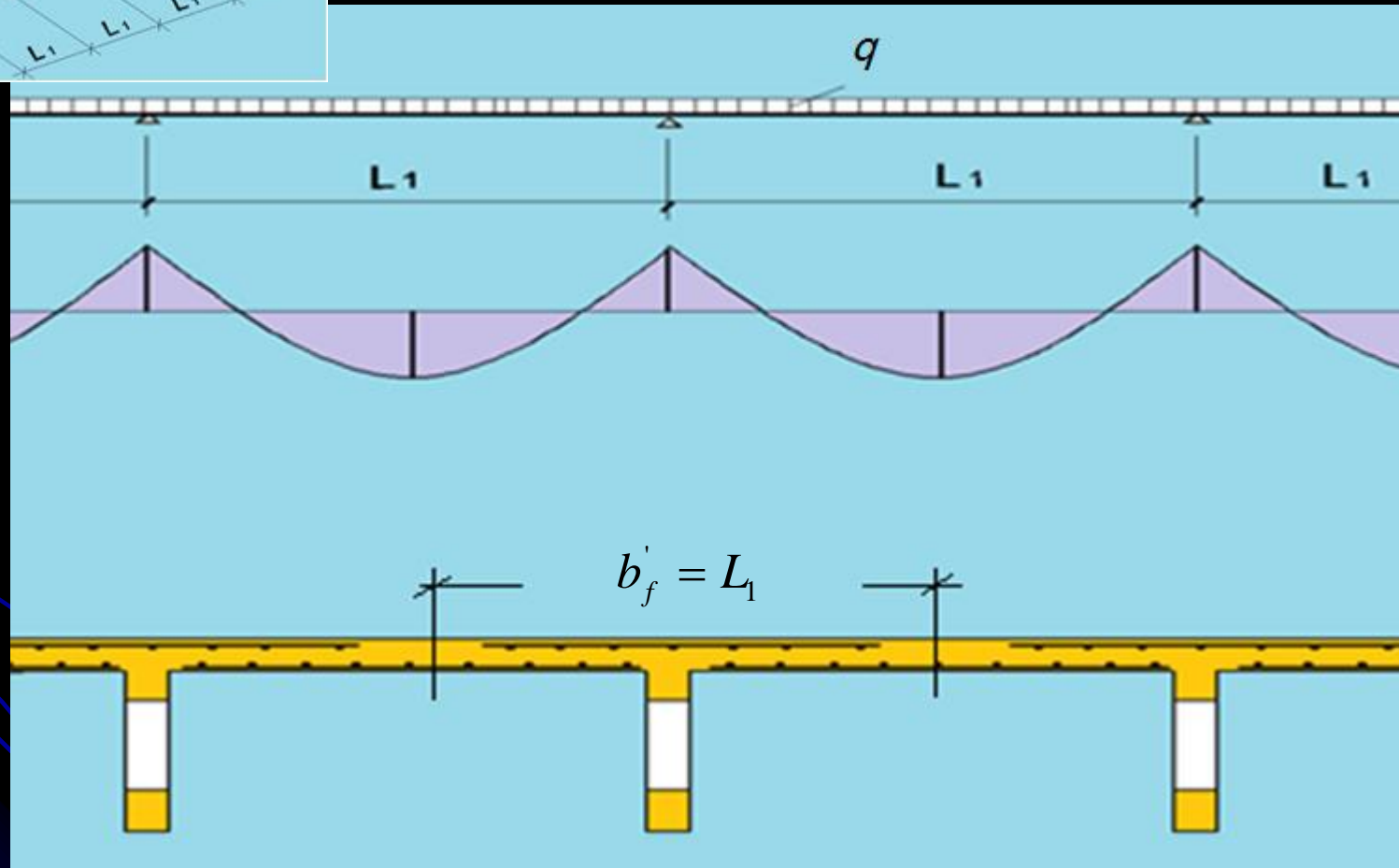
Плечо внутренней пары сил принимают равным: $z = 0.55(f + d_1)$



Тогда площадь арматуры в бортовом элементе $A_s = \frac{M}{z \cdot R_s}$



Многопролетную оболочку считают и армируют как неразрезную балку



Изгибом плиты вдоль волны пренебрегают в виду малости моментов.

ВДОЛЬ ВОЛНЫ (в направлении L_2)
расчету подлежат диафрагмы.

Поперечное сечение диафрагм принимают тавровым с шириной полки равной пролету оболочки ($b'_f = L_1$) и рассчитывают по общим правилам строительной механики.

Нормальные сжимающие усилия, действующие в поле оболочки

$$N_x = \frac{4 \cdot q \cdot R \cdot L_1}{L_2^2} x \cdot (L_2 - x)$$

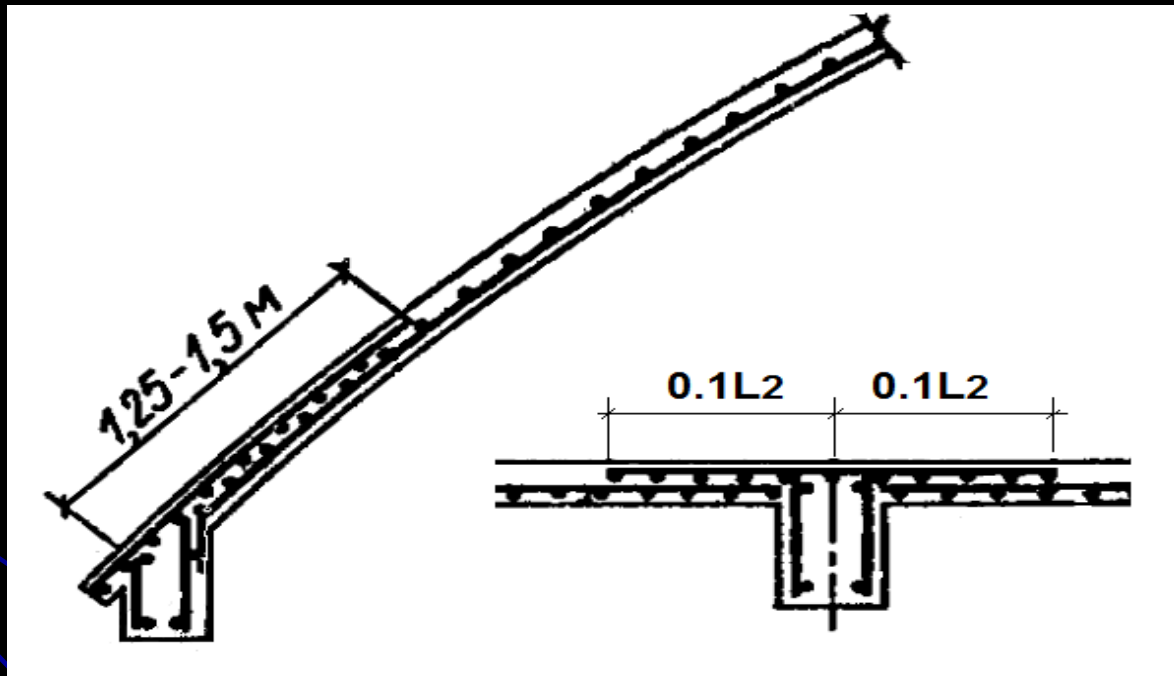
передаются с плиты на диафрагму и учитываются как дополнительная нагрузка.

в формуле:

R - радиус кривизны оболочки в середине длины волны L_2

x - расстояние от опоры до рассматриваемого сечения.

Для восприятия местных усилий толщину плиты над опорами (диафрагмы и бортовые элементы) принято увеличивать и дополнительно армировать.



Высота бортовых элементов принимается не менее $d = \frac{1}{15} L_1$
а ширина – от 0,2 до 0,5 высоты.

- Предварительное напряжение позволяет высоту уменьшить.

Плита КЖС

