

# КОРОТКИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ.

Принципы расчёта и конструирования.

# Основные параметры.

- ◎ Основные параметры:  $l_1/l_2 < 1$ ;
- ◎ Пролёт  $l_1 = 6...12$ м; длина волны  $l_2 = 12...30$ м;
- ◎ Размеры сечения бортового элемента:

$$h_1 = (1/15...1/10) l_1; \quad b_1 = (0,2...0,4) h_1;$$

Стрела подъёма:  $f \geq 1/7 l_2$ ;

Толщина оболочки:  $\delta = 5...6$  см при  $l_1 = 6$ м;

$\delta = 7...8$  см при  $l_1 = 9...12$ м;

(принимается без расчёта).

# Принципы расчёта.

- Различают методы расчёта:
- а) «точный» метод (Милейковский И.Е.)  $\rightarrow 0,5 \leq l_1/l_2 < 1$ ; значительные пролёты  $l_2$ ; малая толщина  $\delta$ ; тяжёлые или сосредоточенные нагрузки;
- б) приближённый метод  $\rightarrow l_1/l_2 < 0,5$ ;  $l_1 \leq 12\text{м}$ ; равномерно распределённая нагрузка.

Приближённый метод расчёта включает два этапа:

- 1) расчёт плиты и бортовых элементов;
- 2) расчёт диафрагм

# Принципы расчёта.

- Приближённый метод расчёта.
- 1) Расчёт плиты и бортовых элементов

Напряжения в плите коротких цилиндрических оболочек (Ц.О.) незначительны, поэтому в явном виде не учитываются.

Сечение и армирование плиты назначаются конструктивно.

Согласно результатам испытаний и расчётов коротких Ц.О. с учётом изг. моментов вдоль  $l_2$ , плечо внутренней пары сил  $Z$  для оболочек с размерами  $l_1 \leq 12\text{м}$ ;  $l_2 \leq 30\text{м}$  составляет:

$$Z = (0,5...0,61)(h_1 + f)$$

# Принципы расчёта.

- При рассмотрении короткой Ц.О. в направлении  $l_1$  как балки растягивающее усилие в бортовом элементе отдельно стоящей оболочки будет равно:

$$N_{\sigma} = \frac{M}{2Z} = \frac{(ql_2)l_1^2}{8 \cdot 2 \cdot 0,55(h_1 + f)} \approx \frac{(ql_2)l_1^2}{9(h_1 + f)}, \quad (1)$$

где  $q$  – приведенная расчётная нагрузка на  $1\text{ м}^2$  горизонтальной проекции оболочки с учётом веса бортовых элементов.

В средних пролётах многопролётной одноволновой оболочки усилие в пролёте бортового элемента уменьшается вдвое.

В многоволновых оболочках усилия в средних бортовых элементах увеличиваются вдвое по сравнению с величиной (1).

# Принципы расчёта.

- Для восприятия усилия (1) в бортовом элементе устанавливается арматура площадью:

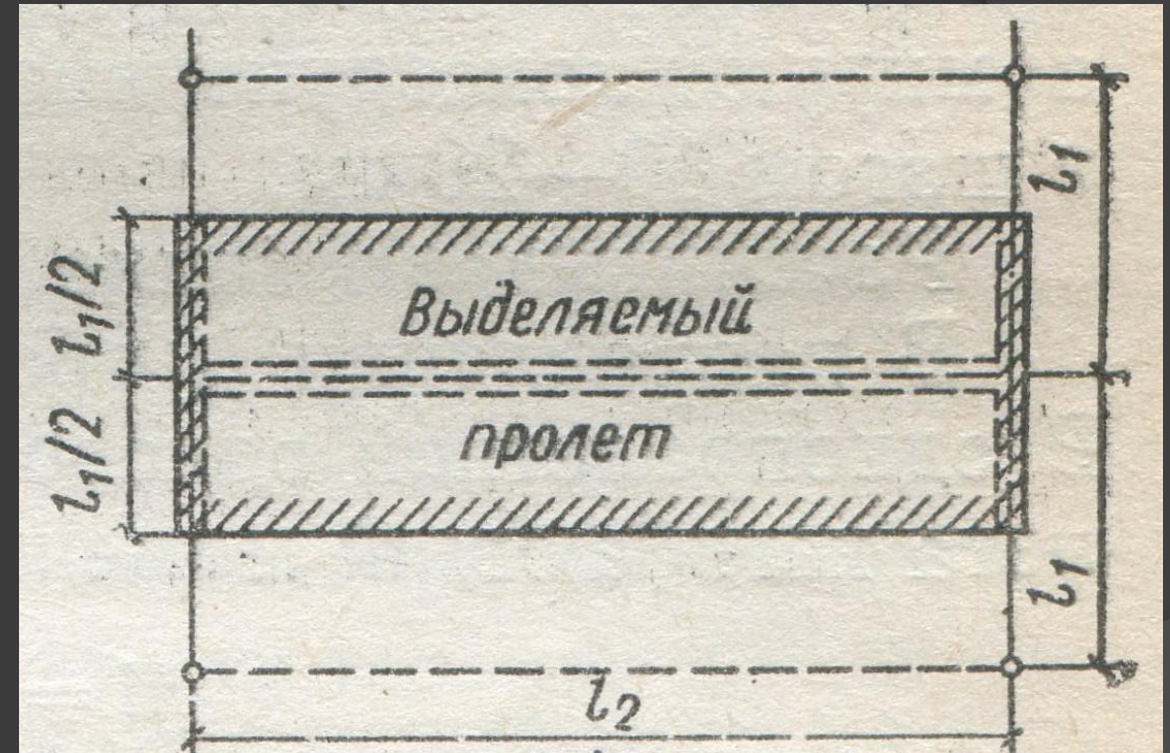
$$A_s = \frac{(ql_2)l_1^2}{9R_s(h_1 + f)} \quad (2)$$

- В пролёте бортового элемента основная часть этой арматуры устанавливается внизу, а на опоре (над диафрагмами) – вверху сечения бортового элемента.
- Хомуты в бортовых элементах устанавливаются из конструктивных соображений.

# Принципы расчёта.

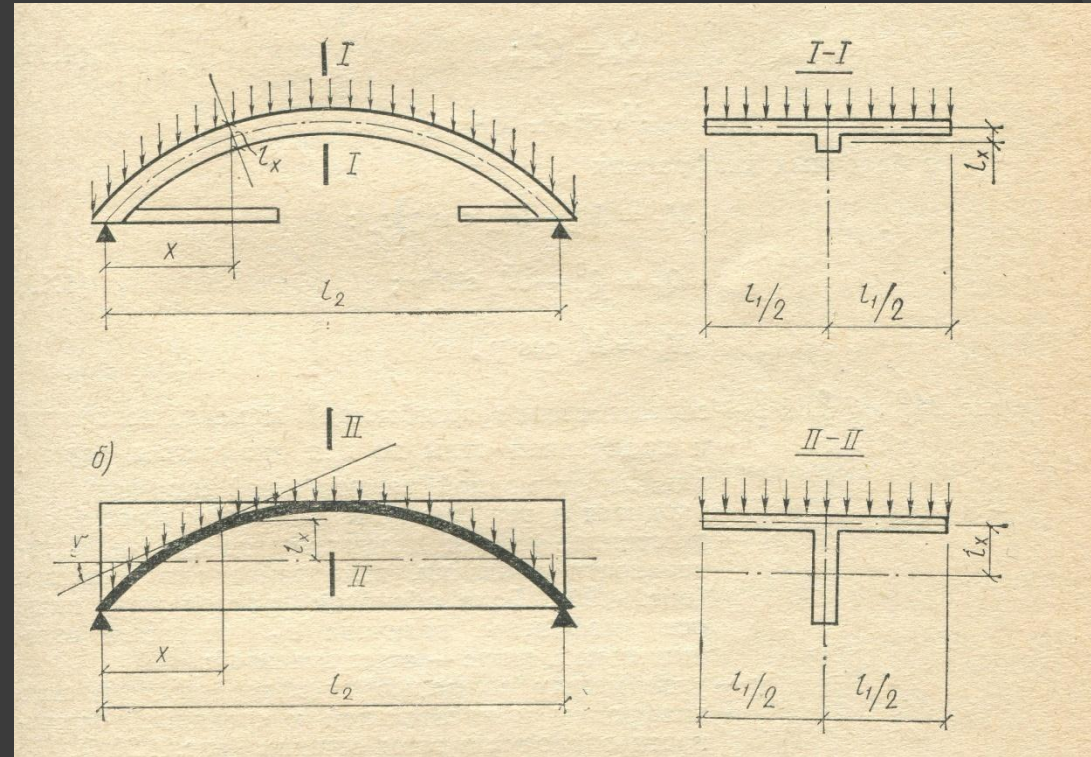
## ○ 2) Расчёт диафрагм.

1. Оболочка рассекается посреди пролётов сечениями, параллельными диафрагмам. Диафрагма с примыкающими к ней частями смежных оболочек разделяется на отдельные волны, а при наличии арочных диафрагм разрезаются их затяжки, т.е. остаются отдельные пролёты безраспорных диафрагм, монолитно связанные с прилегающими частями оболочек.



# Принципы расчёта.

- 2. Усилия  $M_y^0$ ;  $N_y^0$ ;  $Q_y^0$  в сечениях такой конструкции определяются как для криволинейной (а) или прямолинейной (б) балки, находящейся под действием полной вертикальной нагрузки от собственного веса диафрагмы, оболочки с конструкцией кровли и снега (определяются по оси диафрагм).





## Принципы расчёта.

- 3. Производится учёт разгружающего влияния примыкающих к диафрагмам частей оболочки.

Вдоль  $l_2$  учитываются лишь нормальные сжимающие усилия  $N_y$  в соответствии с безмоментной теорией (изг. моментами и поперечными силами в этом направлении пренебрегаем).

Максимальные сжимающие усилия в шельге составляют:

$$N_{y,\max} = -q \cdot r \quad (3)$$

здесь  $r$  – радиус кривизны оболочки, равный

$$r = \frac{l_2^2 + 4f^2}{8f} \quad (4)$$

## Принципы расчёта.

- Характер изменения усилия  $N_y$  вдоль  $l_2$  неизвестен, но с учётом гибкости бортовых элементов из плоскости и опытных данных было принято (предложение проф. Гвоздева А.А.):

$$N_y(\xi) = -4qr\xi(1-\xi), \quad (5)$$

где  $\xi = y/l_2$ ;  $y$  – расстояние (по горизонтали) от левой опоры до произвольного сечения диафрагмы.

Поперечным сжимающим усилиям оболочки, изменяющимся по закону (5), отвечают реактивные растягивающие, т.е. разгружающие усилия в диафрагме, равные по абсолютной величине и действующие по касательной к срединной поверхности оболочки.

# Принципы расчёта.

- Разгружающие усилия оболочки у крайней и средней диафрагм соответственно составляют:

$$\bar{N}_y = 4qr \frac{l_1}{2} \xi(1-\xi) = 2qrl_1 \xi(1-\xi) \quad (6)$$

$$\bar{N}_y = 4qrl_1 \xi(1-\xi) \quad (7)$$

- Тогда усилия в арочных диафрагмах:

$$\begin{aligned} M_y &= M_y^0 - \bar{N}_y \cdot e; \\ Q_y &= Q_y^0; \\ N_y &= N_y^0 + \bar{N}_y. \end{aligned} \quad (8)$$

## Принципы расчёта.

- Усилия в балочных диафрагмах с учётом влияния оболочки:

$$\begin{aligned}M_y &= M_y^0 - (\bar{N}_y \cos \gamma) e; \\Q_y &= Q_y^0 - \bar{N}_y \sin \gamma; \\N_y &= \bar{N}_y \cos \gamma\end{aligned}\tag{9}$$

здесь  $e$  – расстояние от оси диафрагмы до срединной поверхности оболочки;  $\gamma$  – угол между нормалью к поперечному сечению диафрагмы и касательной к срединной поверхности оболочки в этом сечении. Величина  $e$  принимается со знаком «+», если оболочка расположена выше оси диафрагмы, и со знаком «-» – в противоположном случае. Поэтому при диафрагмах-арках выгодно располагать оболочку выше диафрагм (уменьшение моментов).

# Принципы расчёта.

- 4. Методами расчёта статически неопределимых систем производится учёт неразрезности (в неразрезных диафрагмах-балках многоволновых оболочек) или влияния затяжек (в диафрагмах-арках). Эти статически неопределимые усилия (опорные моменты в балках, усилия в затяжке в арках) прикладываются лишь к самим диафрагмам. Например, для арочных диафрагм усилие в затяжке определяется как:

$$a_{11}H + a_{10} = 0; \rightarrow H = -\frac{a_{10}}{a_{11}}, \quad (10)$$

где

$$a_{11} = 2 \int_0^{l_2/2} \frac{\bar{M}_1^2 dy}{E_b I}; \quad a_{10} = 2 \int_0^{l_2/2} \frac{\bar{M}_1 M_y dy}{E_b I} \quad (11)$$

## Принципы расчёта.

- $M_l = 1 \cdot z$ ;  $z = f(y)$  – очертание оси арки;  $M_y$  – см. формулы (8);  
 $E_b I$  - определяется без учёта примыкающих полок тавра.  
Уточняются усилия в сечениях диафрагмы-арки с учётом  $H$ :

$$M = M_y - H \cdot z; \quad Q = Q_y - H \sin \varphi; \quad N = N_y + H \cos \varphi \quad (12)$$

где  $\varphi$  – угол наклона касательной к оси арки в рассм. сечении к горизонтали;  $z$  - расстояние от линии действия распора до оси.

### Проверка устойчивости короткой цилиндр. оболочки

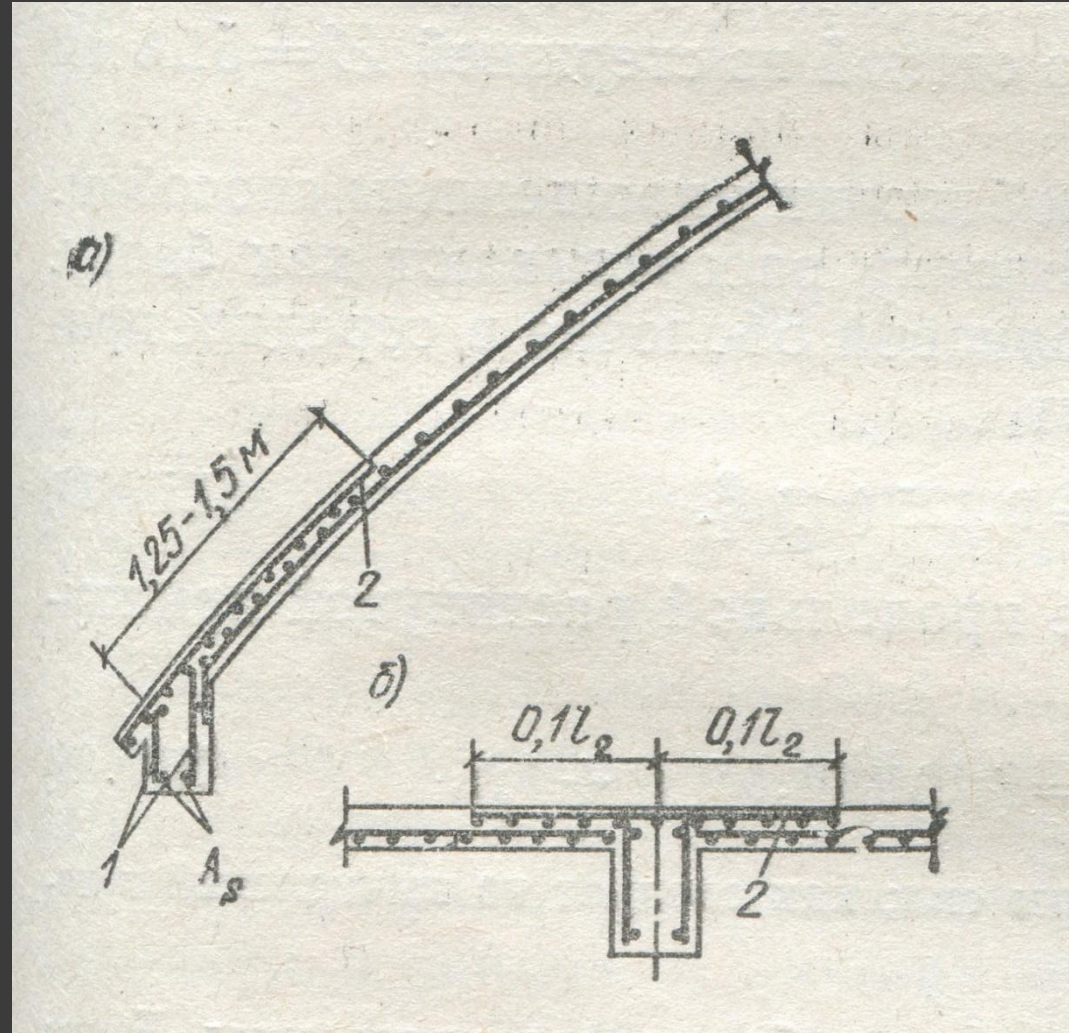
$$q \leq 0,75 E_{bt} \left( \frac{\delta}{r} \right)^2 \frac{1}{\frac{l_1}{\sqrt{r \cdot \delta}} - 1}, \quad (13)$$

# Конструирование коротких цил.

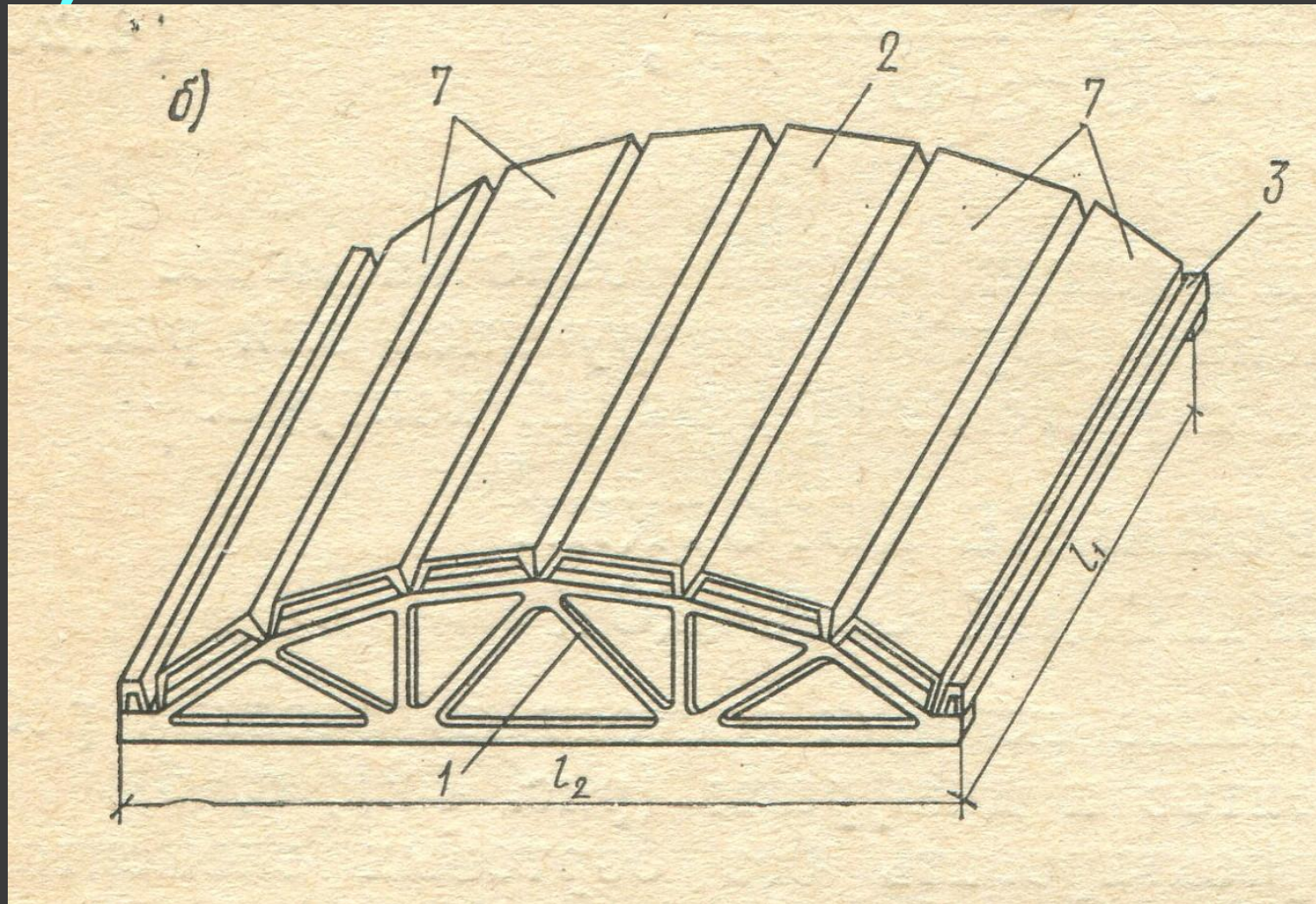
## оболочек

⊙ Арматура типа 1 →  
принимается из расчёта  
бортовых элементов;  
объединяется в каркасы с  
помощью хомутов  $S_w = 300\text{мм}$ .

Арматура типа 2 →  
конструктивная сетка из  
стержней  $\text{Ø}5;6 \text{ B}500\text{C}$  с шагом  
 $100 \dots 200\text{мм}$ ; раскатывается по  
всей оболочке. Над  
диафрагмами и у бортовых эле-  
ментов – доп. сетки усиления.



# Принцип разрезки (сборный вариант)





# Принцип разрезки (система ЦНИИСК)

