

# Металлические конструкции в современном строительстве

## ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ



ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ

[ipk.tsogu.ru](http://ipk.tsogu.ru)

28 39 77

© Корсун Н.Д., 2017

© ТИУ, 2017

# Тестовое задание

**1. Что понимается под легкостью конструкционного материала?**

- a) возможность перекрытия больших пролетов при незначительной строительной высоте
- b) отношение веса перевозимых конструкций к грузоподъемности транспортного средства
- c) отношение плотности материала к его расчетному сопротивлению

**2. Какое из указанных свойств не является недостатком стальных конструкций?**

- a) склонность к хрупкому разрушению
- b) низкая огнестойкость
- c) непроницаемость
- d) подверженность коррозии

**3. Какие свойства стали повышает углерод?**

- a) свариваемость
- b) прочность
- c) пластичность

**4. Чему равен объемный вес стали?**

- a)  $25 \text{ кН/м}^3$
- b)  $38,5 \text{ кН/м}^3$
- c)  $78,5 \text{ кН/м}^3$

**5. Какие химические элементы для стали не являются легирующими? (укажите один или несколько ответов)**

- a) фосфор
- b) хром
- c) медь
- d) сера

- 6. Что является причиной пластического разрушения стали?**
- a) ударные нагрузки
  - b) большие упругие деформации в условиях затруднения сдвиговых деформаций
  - c) сдвиговые деформации, связанные с движением дислокаций
- 7. Какое относительное удлинение при разрыве имеют малоуглеродистые стали?**
- a) 22-30%
  - b) 2-3%
  - c) 10-15%
- 8. Как влияет на прочность стали равнозначное напряженное состояние?**
- a) Не влияет
  - b) Уменьшает
  - c) Увеличивает

- 9. Какие из указанных факторов способствуют переходу стали в хрупкое состояние? (укажите один или несколько ответов)**
- a) мелкозернистость
  - b) резкие изменения формы
  - c) динамические воздействия
  - d) низкая температура
- 10. Что называется усталостью металла?**
- a) разрушение от ударного воздействия
  - b) разрушение при совместном действии статической нагрузки и высокой температуры
  - c) разрушение при напряжениях меньших предела текучести под воздействием часто повторяющихся нагружений

# Ответы на Тестовое задание

Вопрос	1	2	3	4	5
Ответ	c	c	b	c	a d

Вопрос	6	7	8	9	10
Ответ	c	a	c	b c d	c

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

## Плоские системы

- Балочные (балки, прогоны, фермы)
- Рамные
- Арочные
- Комбинированные

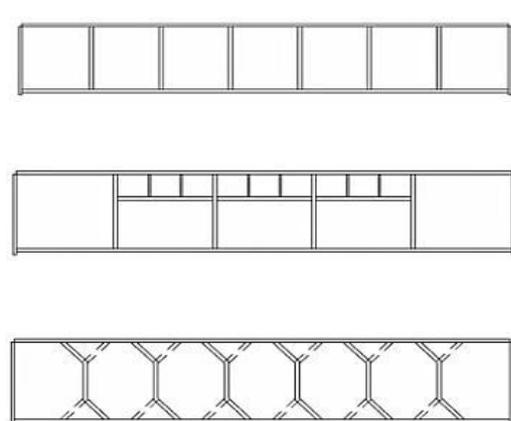
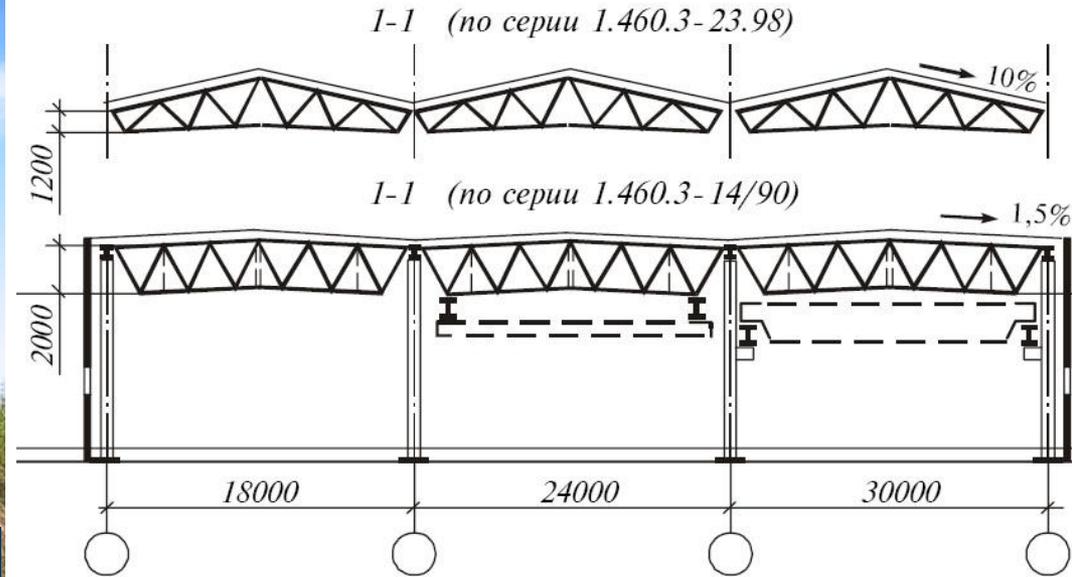
## Пространственные системы

- Настилы
- Структурные плиты
- Оболочки, купола
- Висячие покрытия (вантовые, мембранные)
- Листовые (силосы, бункеры, резервуары)
- Высотные сооружения (башни, мачты)
- Каркасы зданий

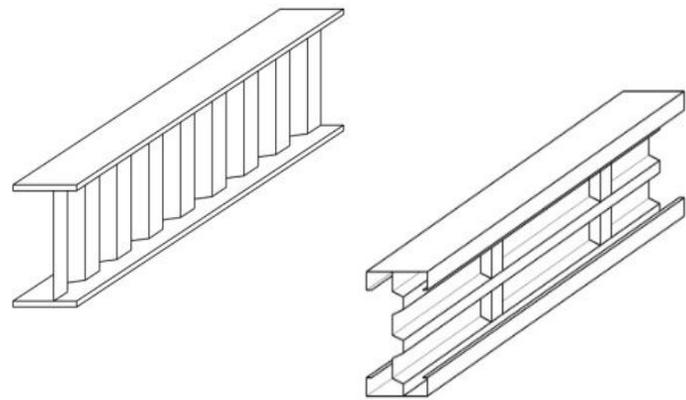
# Балочные системы



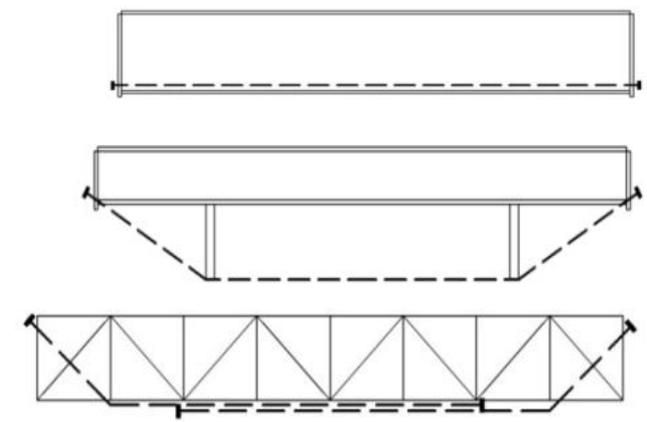
**Фермы типа «Молодечно»**



**Составные балки**



**Балки с гофрированной стенкой**



**Преднапряженные балки и фермы**

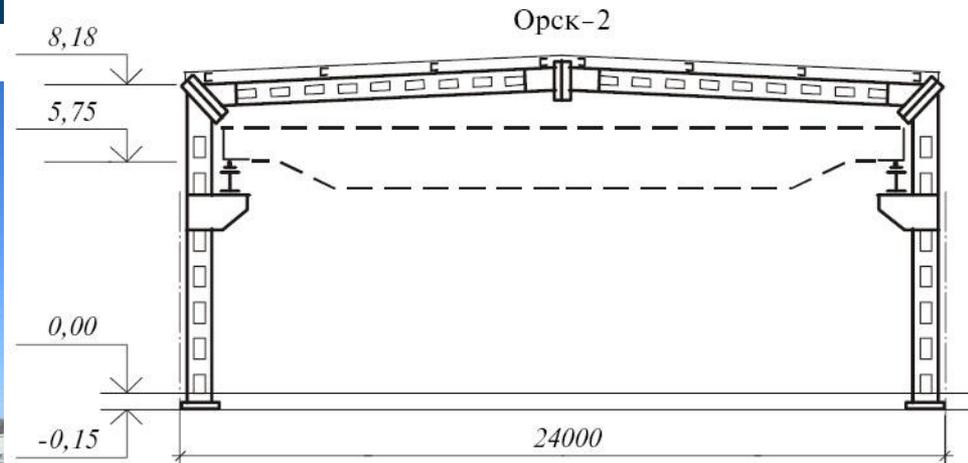
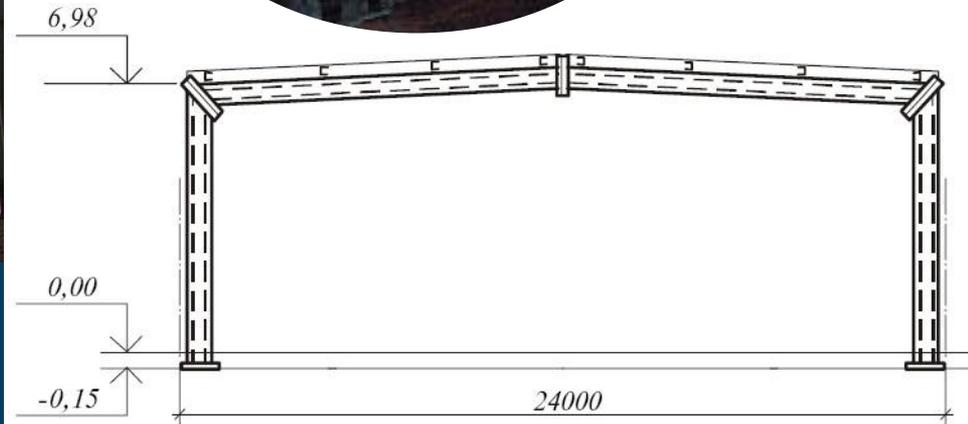
# Рамные системы



**Каркас здания с двухпролетными рамами из сварных двутавров**



**Каркас здания типа «УНИТЭК»**



**Рамы типа «Орск»**

# Арочные системы



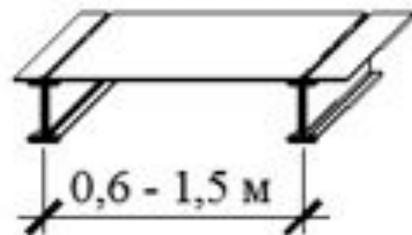
Арочное здание из  
алюминиевых объемных  
решетчатых арок



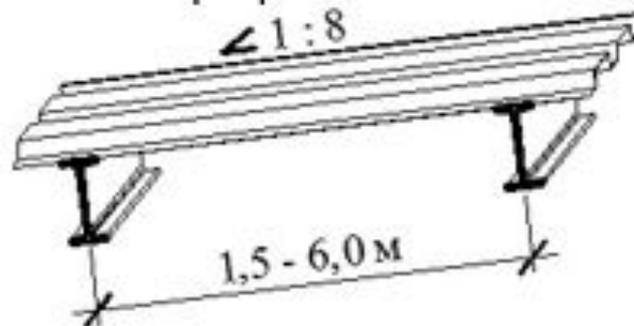
Здание из плоских решетчатых арок

# Настилы

Плоский стальной



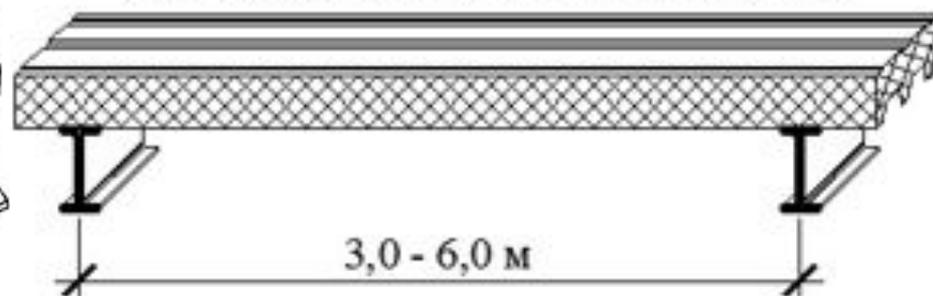
Профнастил



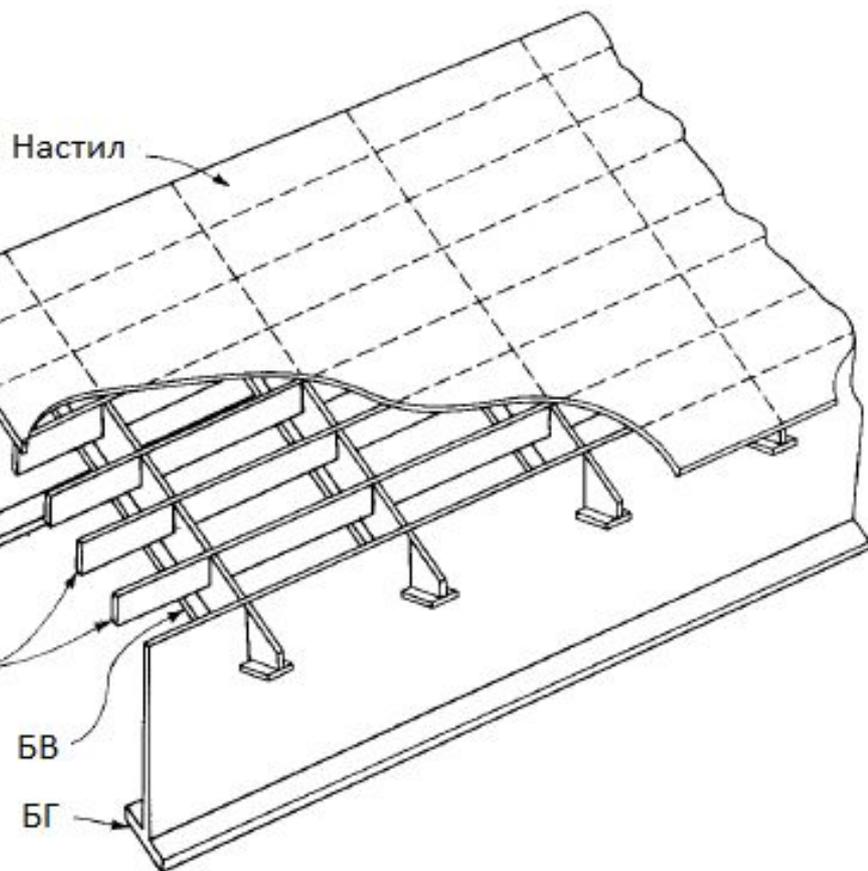
Двуслойная панель типа сэндвич



Трехслойная панель типа сэндвич



Настил



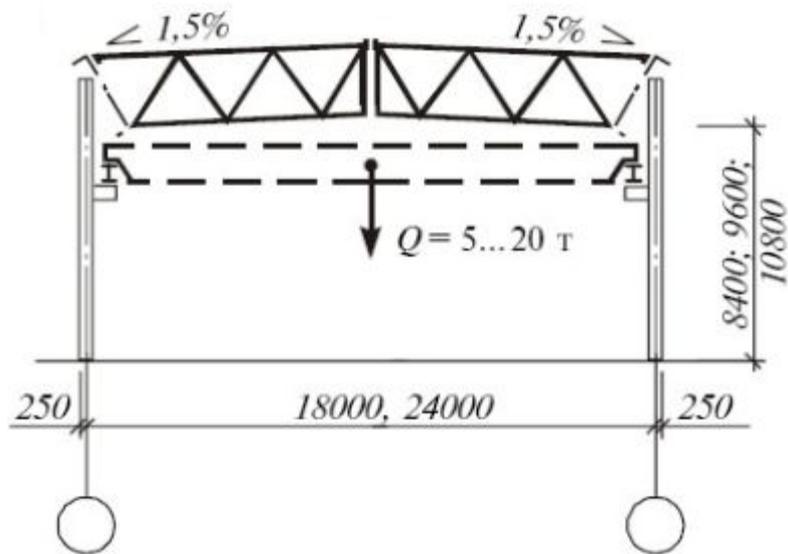
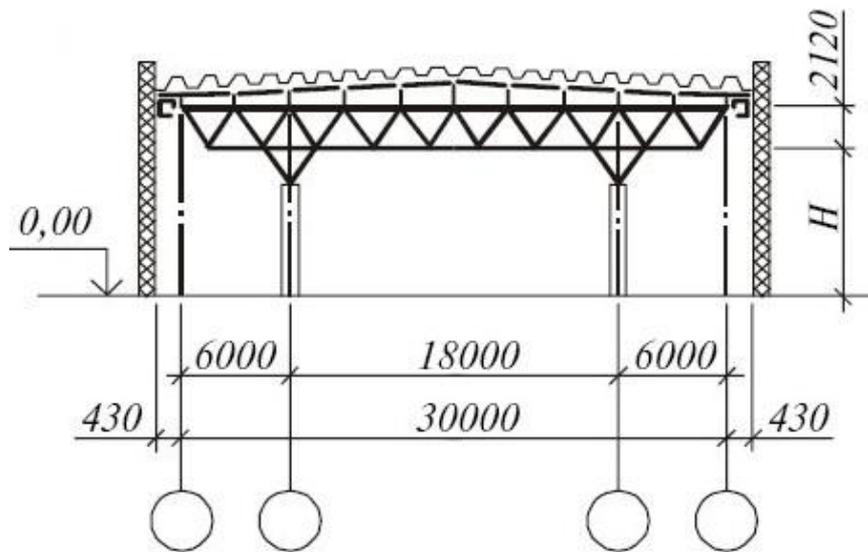
# Структурные плиты



**Каркас здания со структурной плитой**

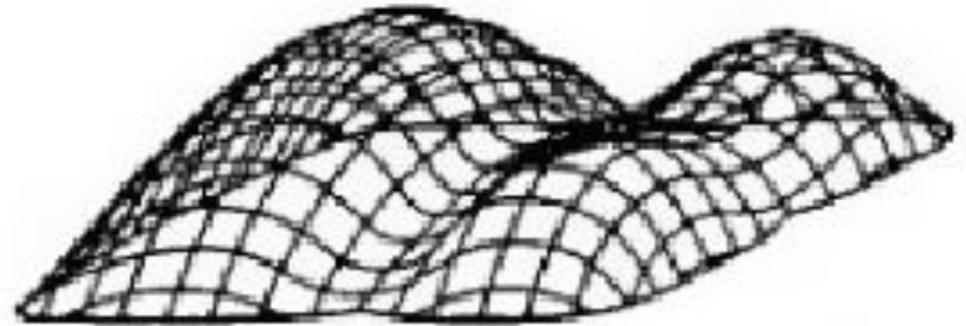
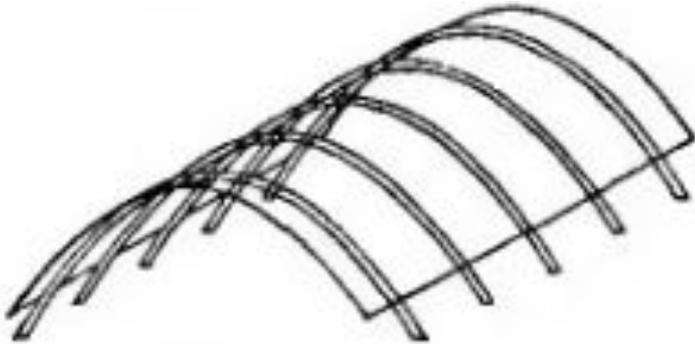


**Каркас здания со структурным блоком «Москва»**



# Оболочки, купола

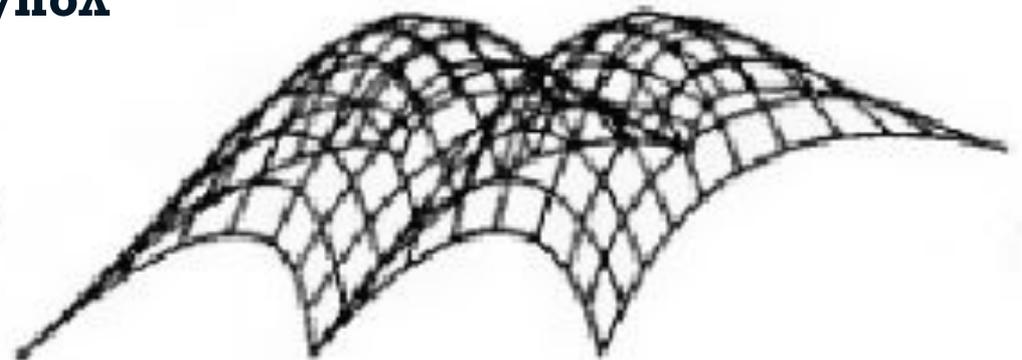
## Цилиндрический свод



Купол



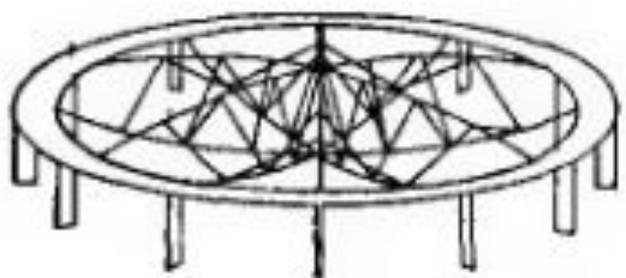
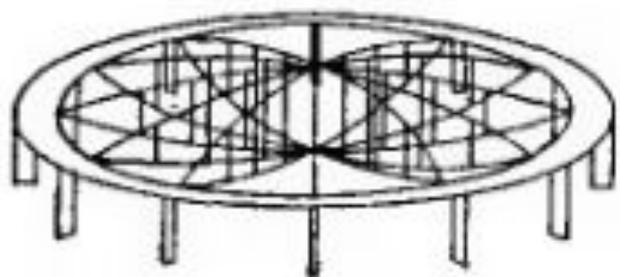
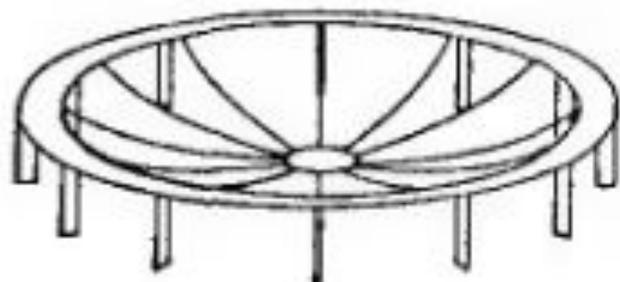
Свод на прямоугольном плане



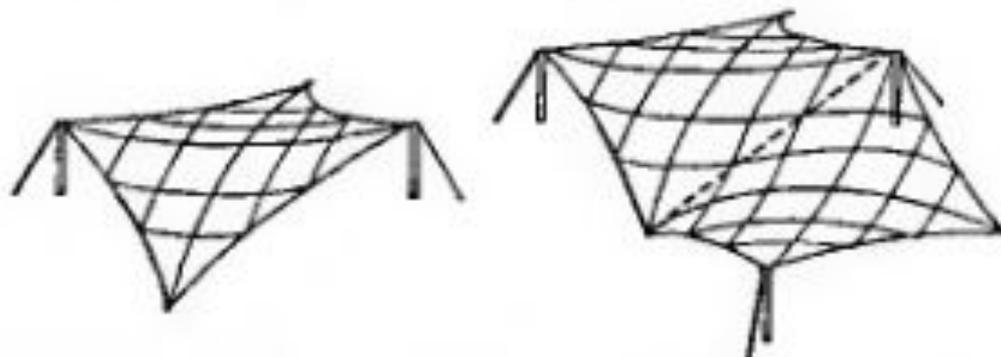
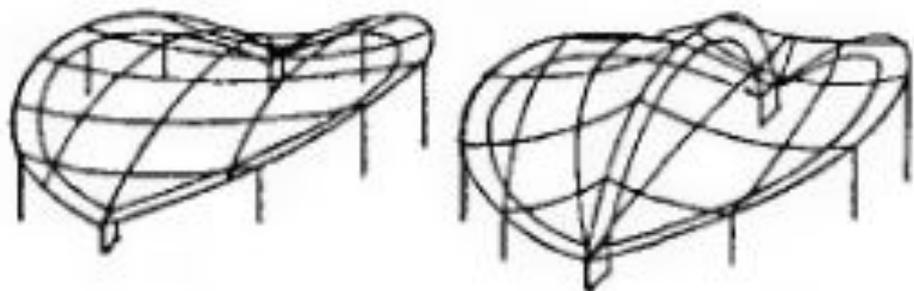
Оболочки сетчатые

# Висячие покрытия

С опорными арками

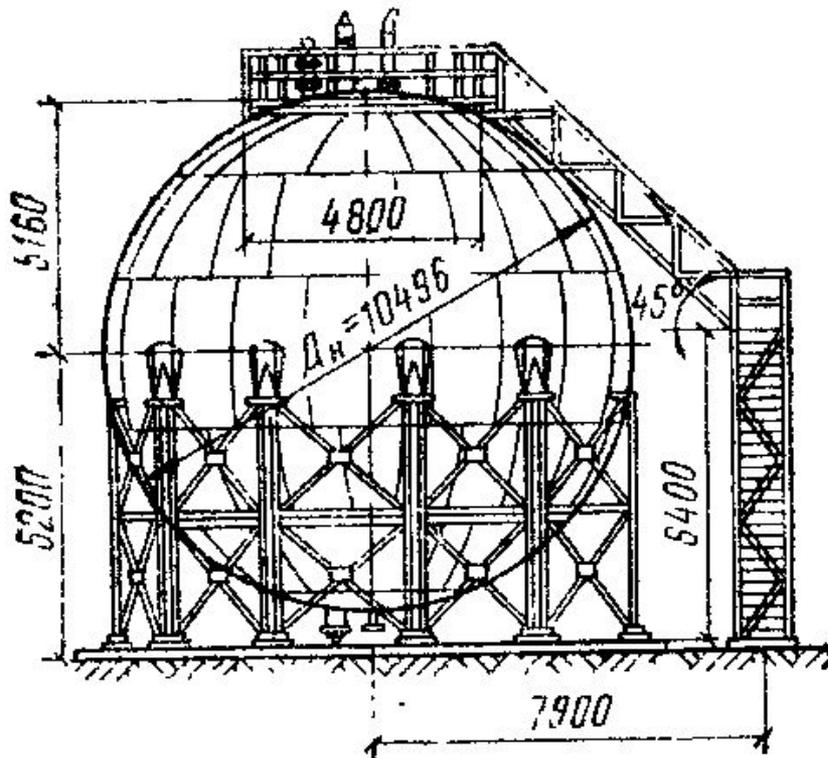


На круглом  
плане

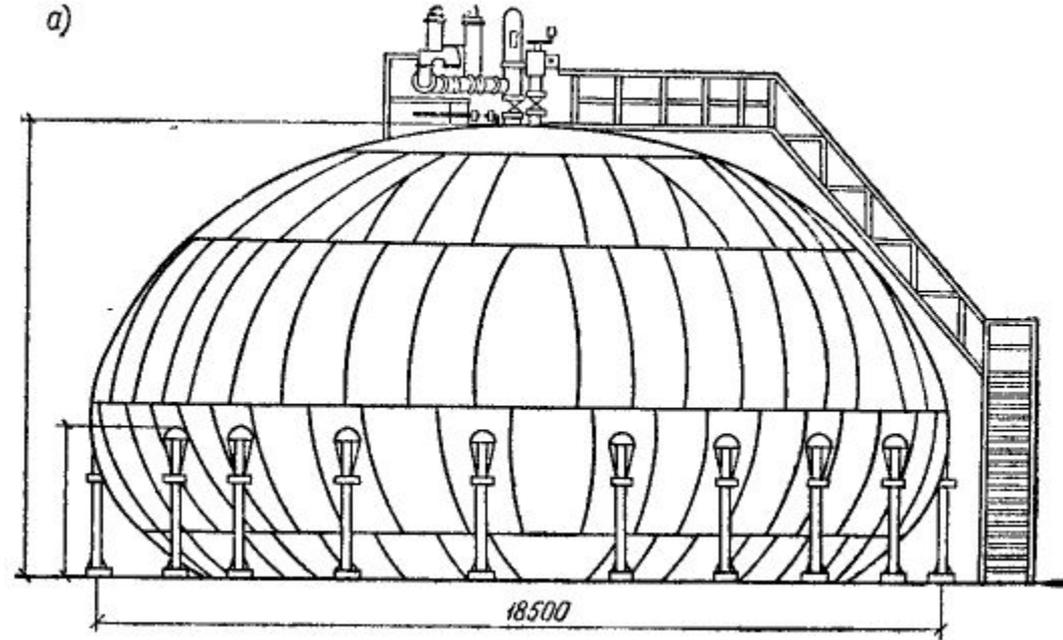


На прямоугольном плане

# Листовые конструкции

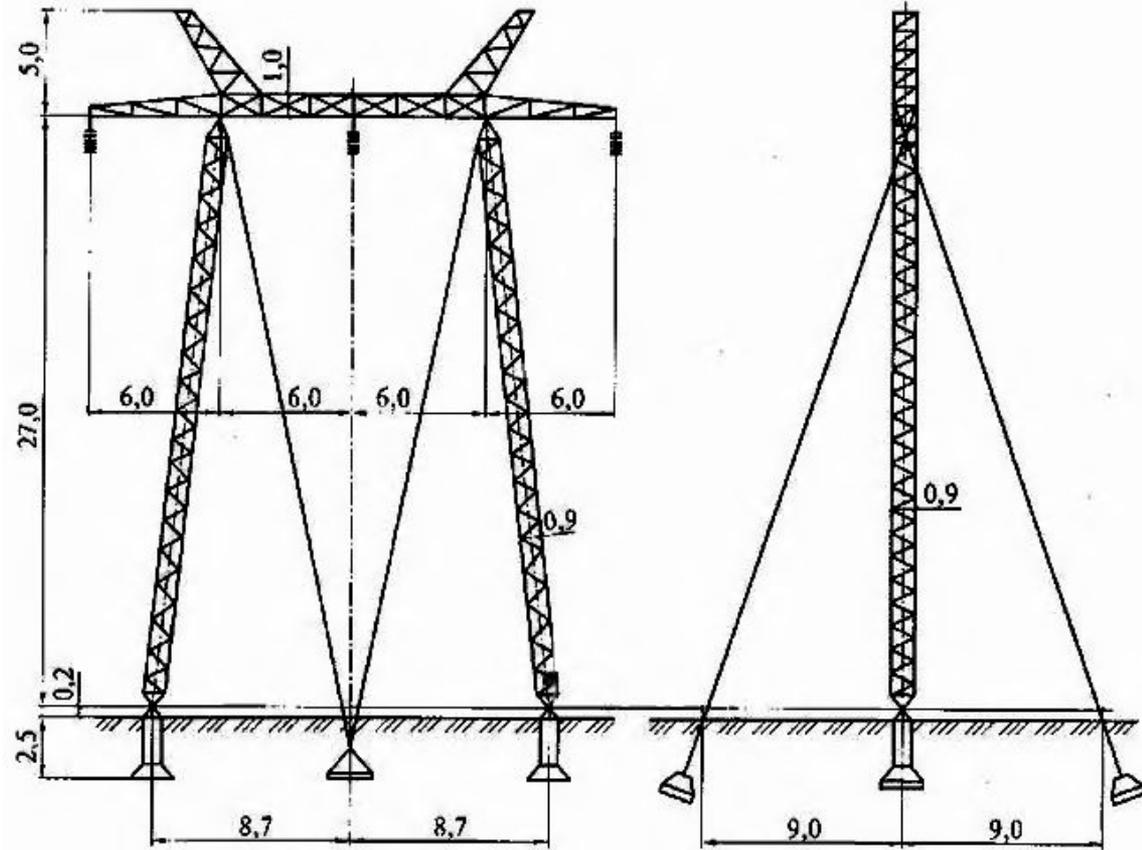
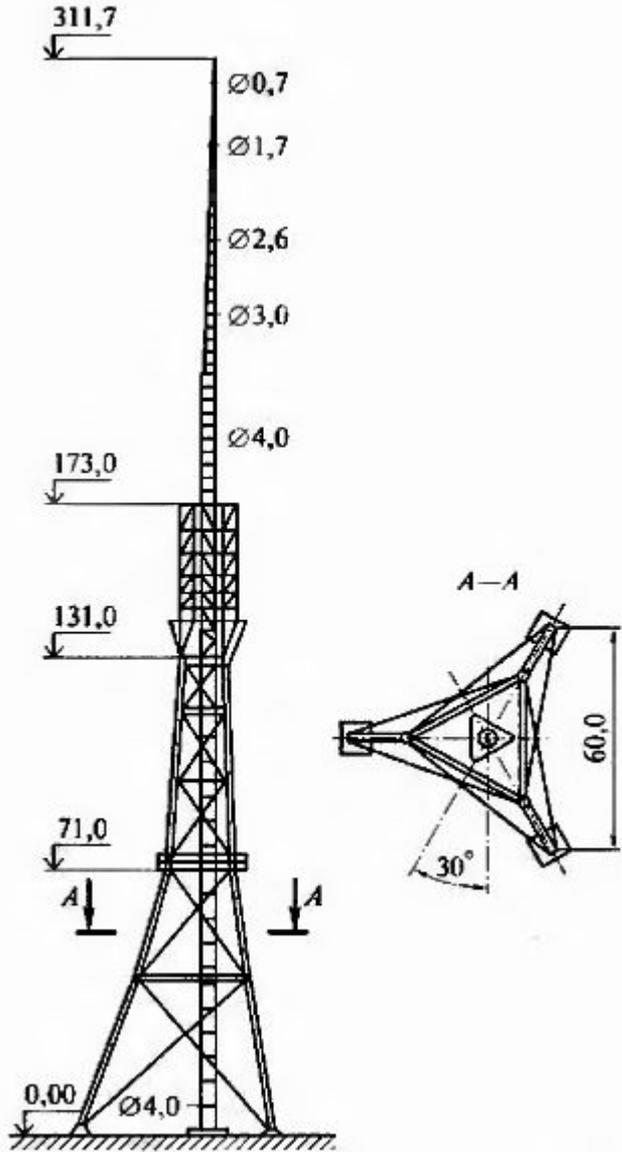


**Газгольдер**



**Резервуар**

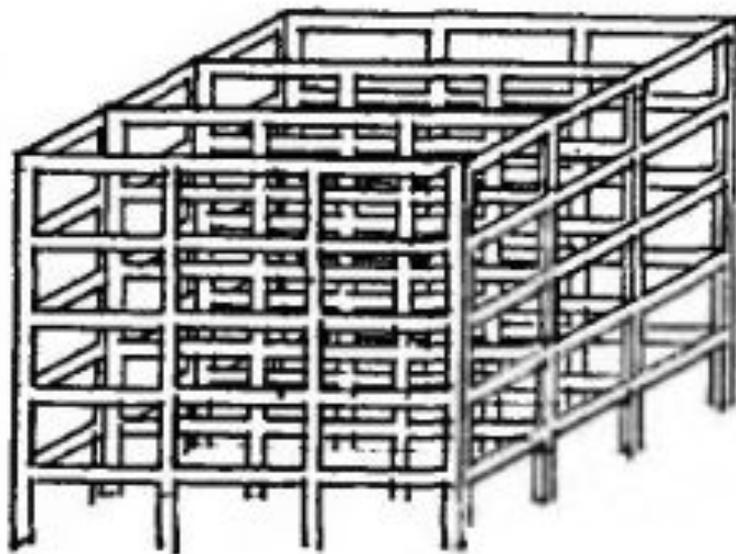
# Высотные сооружения



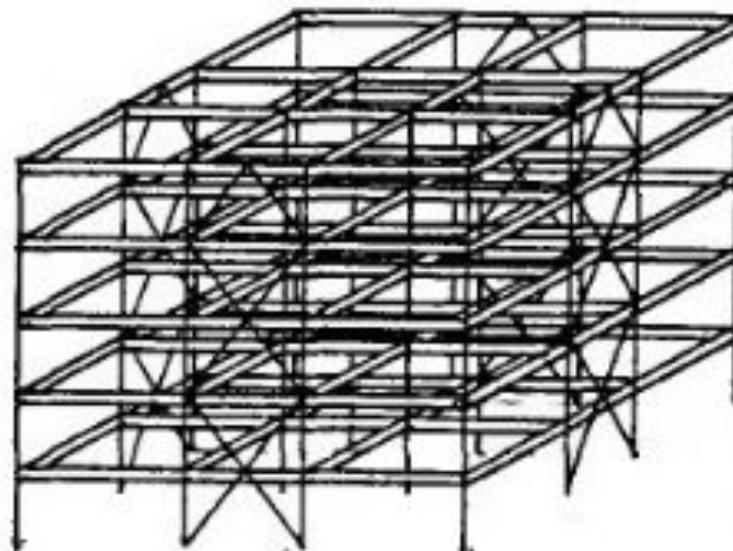
Телевизионная башня в

Опора ЛЭП

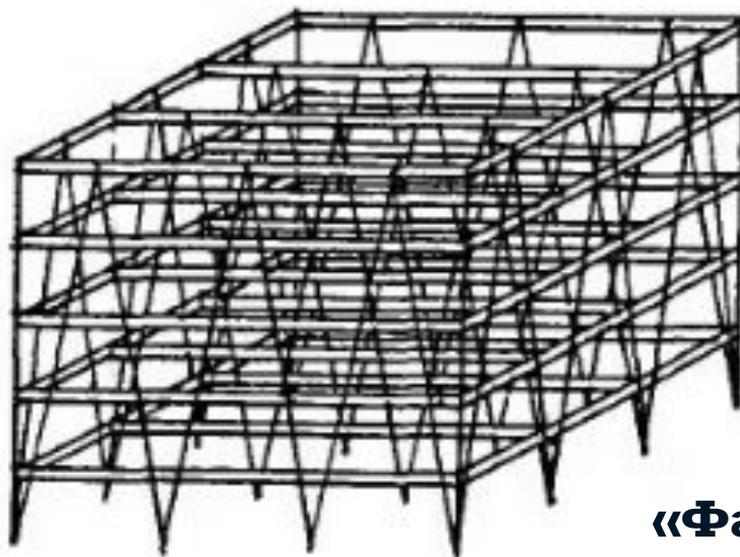
# Каркасы зданий



**Рамный**



**Связевый**



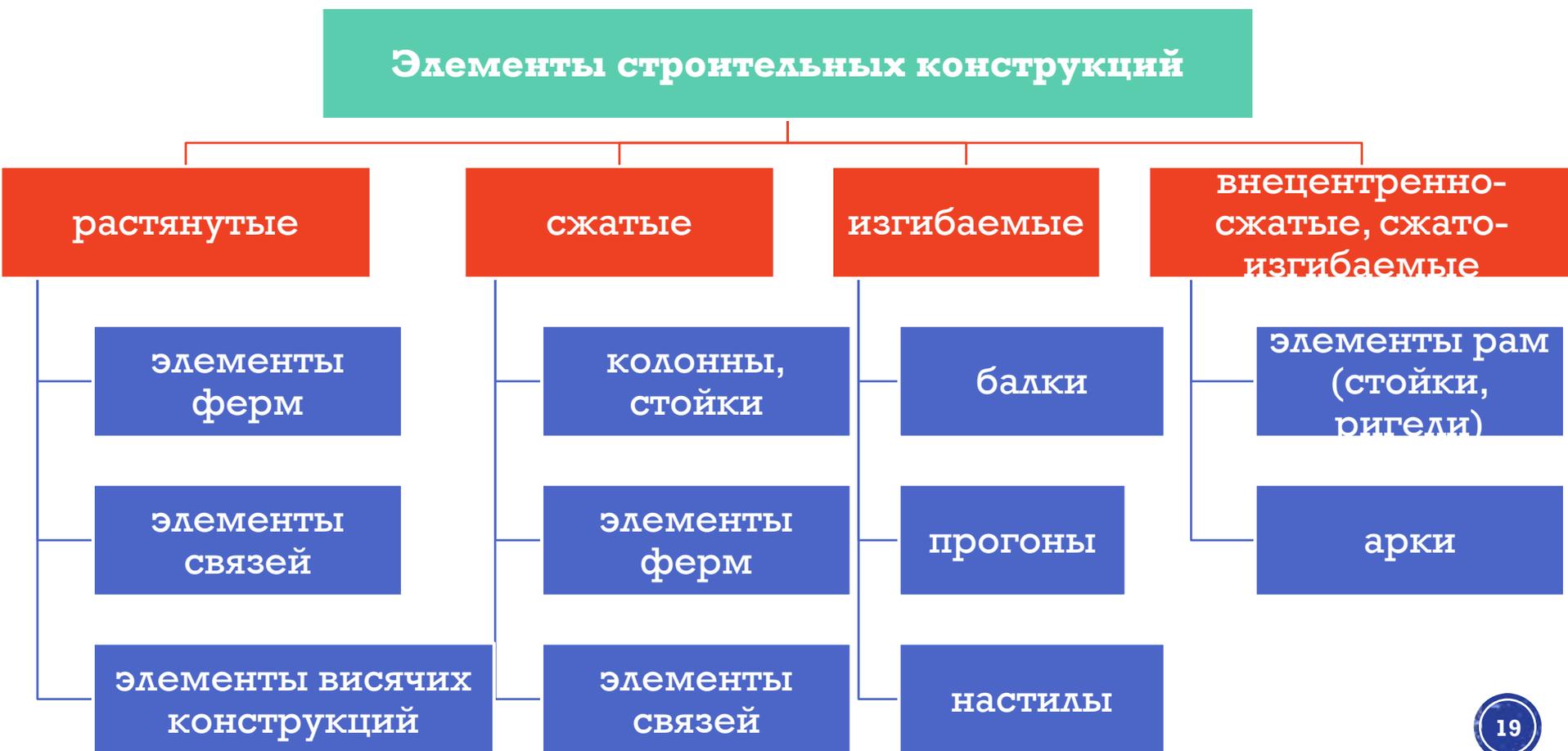
**«Фахверковый»**

## 2. ЭЛЕМЕНТЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

- **Строительная конструкция** – это часть здания или другого строительного сооружения, выполняющая определенные несущие, ограждающие и (или) эстетичес



- **Элемент** – это часть строительной конструкции, изготавливаемая отдельно.
- По характеру работы элементы подразделяют на *растянутые, сжатые, изгибаемые, внецентренно-сжатые и сжато-изгибаемые*.



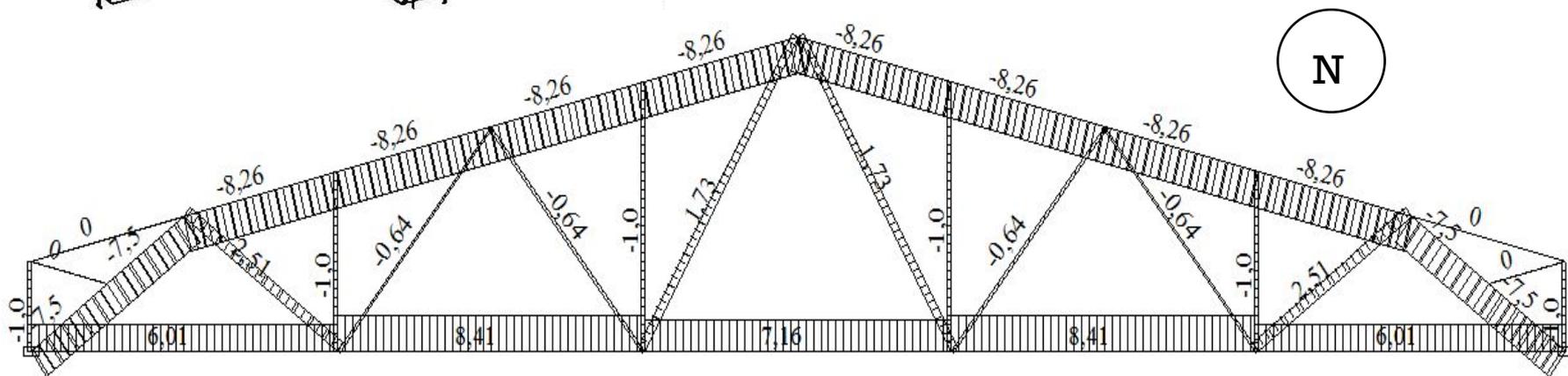
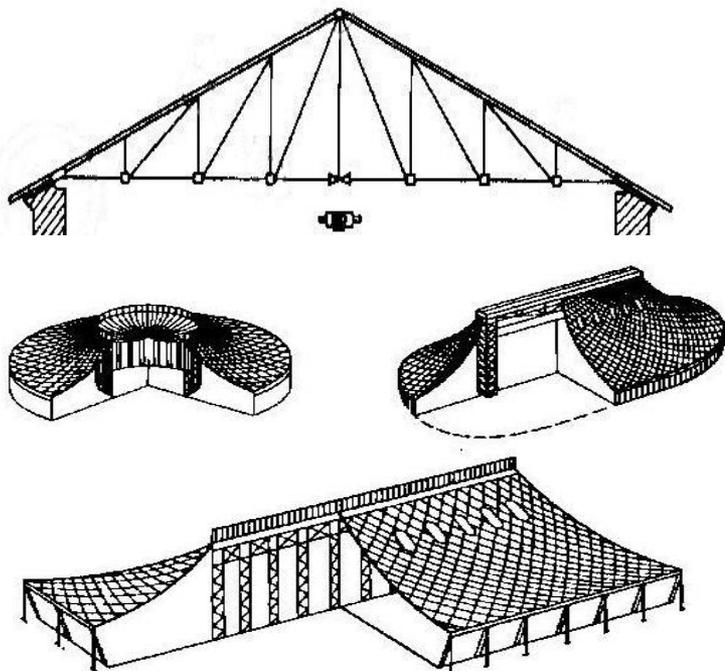
# 3. РАСТЯНУТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- условие прочности

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1$$

- условие по предельной гибкости

$$\lambda \leq \lambda_u = 400(250)$$



## 4. ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



- условие прочности

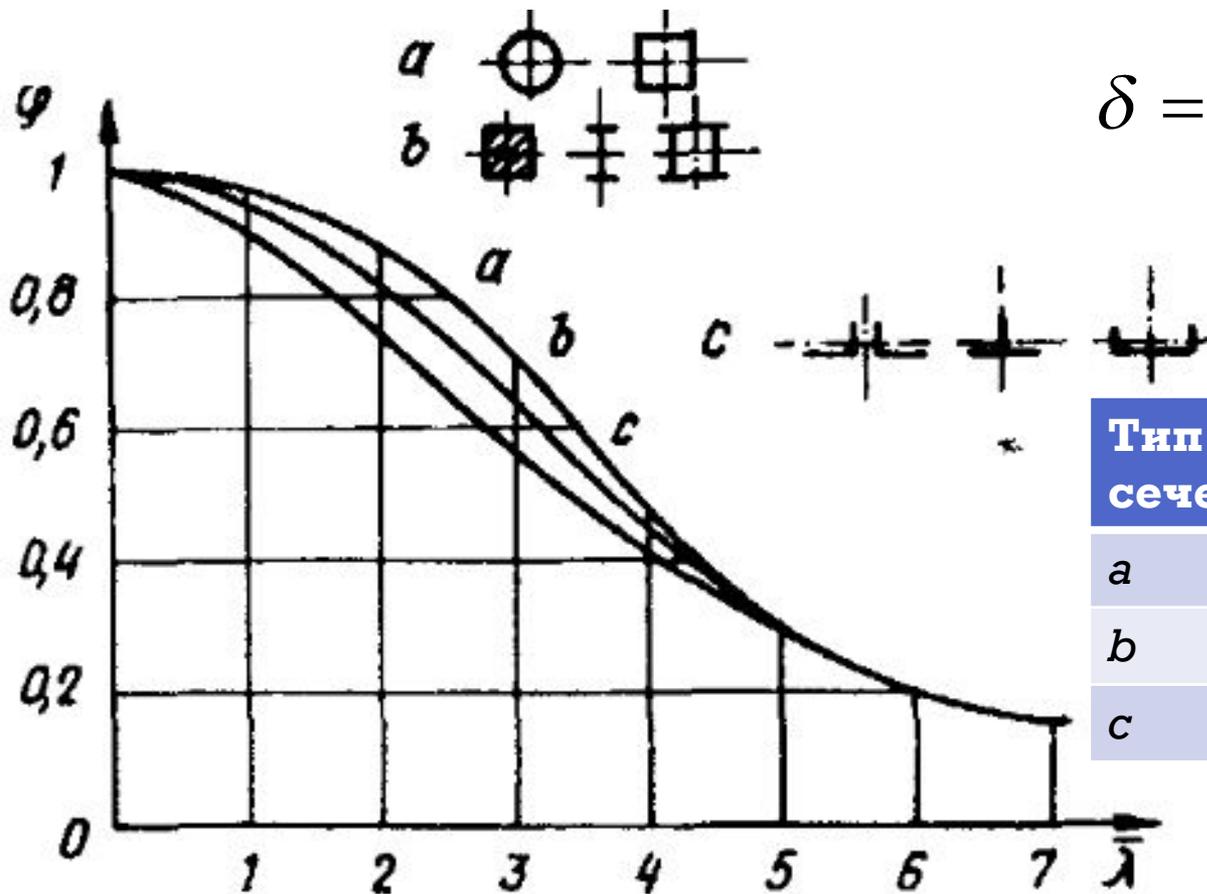
$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1$$

- условие устойчивости (общей)

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1$$

▪ Коэффициент устойчивости при центральном сжатии

$$\varphi = 0,5(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\bar{\lambda}^2}) / \bar{\lambda}^2$$



$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2$$

Тип сечения	$\alpha$	$\beta$
a	0,03	0,06
b	0,04	0,09
c	0,04	0,14

• Условная гибкость стержня –

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$$

• Гибкость стержня –

$$\lambda = l_{ef} / i \quad \lambda \leq \lambda_u$$

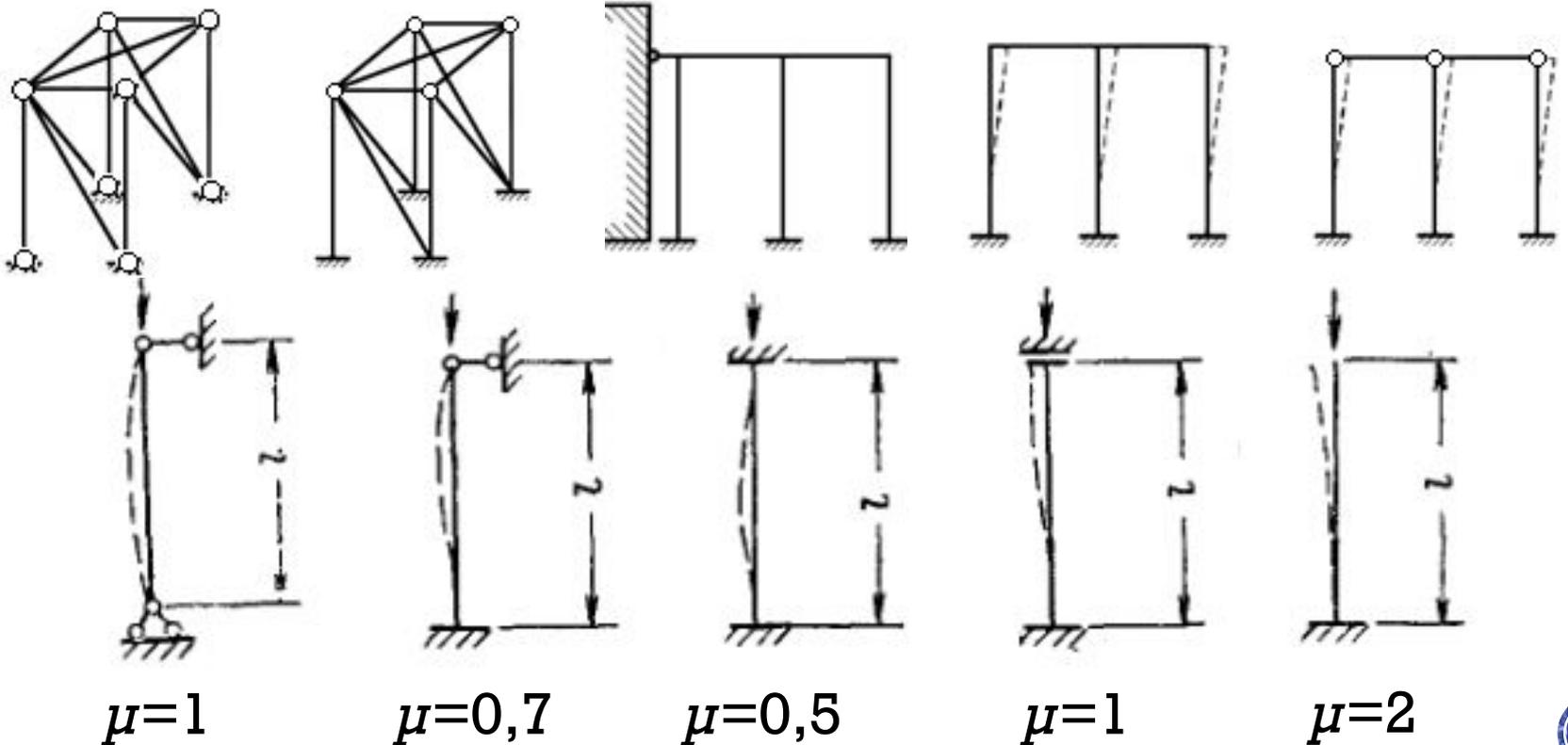
• Расчетная длина стержня –

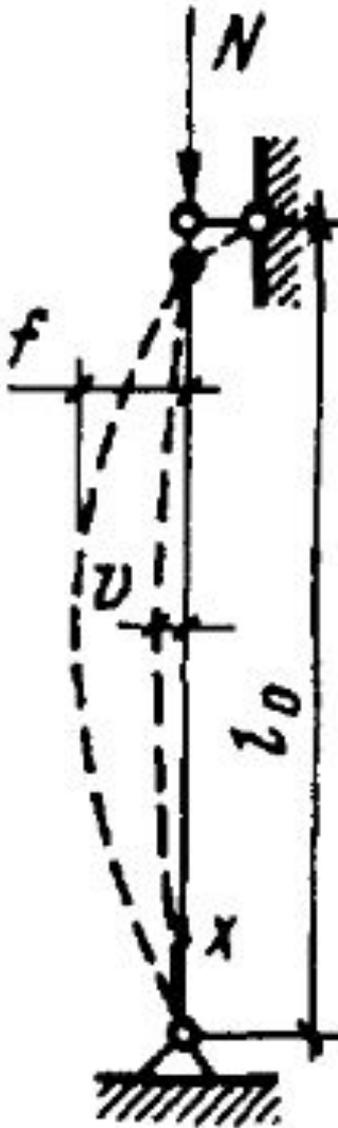
$$l_{ef} = \mu l, \quad i = \sqrt{I / A}$$

• Предельная гибкость стержня колонны –

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha$$

$$\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \geq 0,5$$

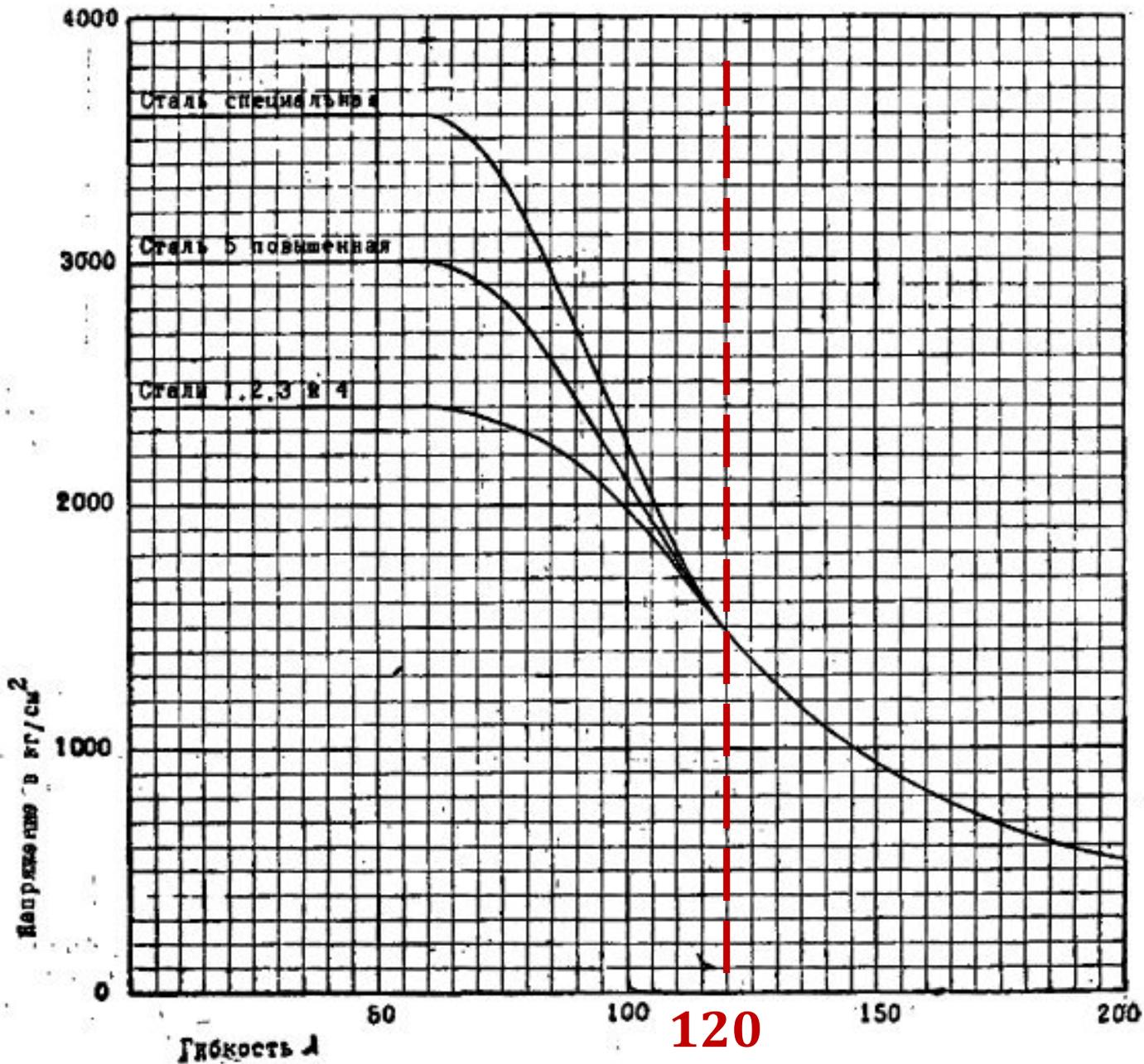




- **Потеря устойчивости** связана с **боковым выпучиванием** центрально-сжатого стержня при его нагружении критической силой.
- При расчете стержня учитывается начальный **погиб** (искривление)  $v$  – он отражает состояние стержня до нагружения.
- Приобретенный продольный изгиб стержня характеризуется **прогибом**  $f$ .
- При вычислении  $\phi$  учитываются **начальные несовершенства**:

$$e_b = \frac{i}{20} + \frac{l}{750}$$

ГРАФИК КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ИЗГИБЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТАЛЕЙ



# 5. ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

## условия прочности

$$\frac{M}{W_{n, \min} R_y \gamma_c} \leq 1$$

- при действии  
**момента**

$$\frac{QS}{I_{tw} R_s \gamma_c} \leq 1$$

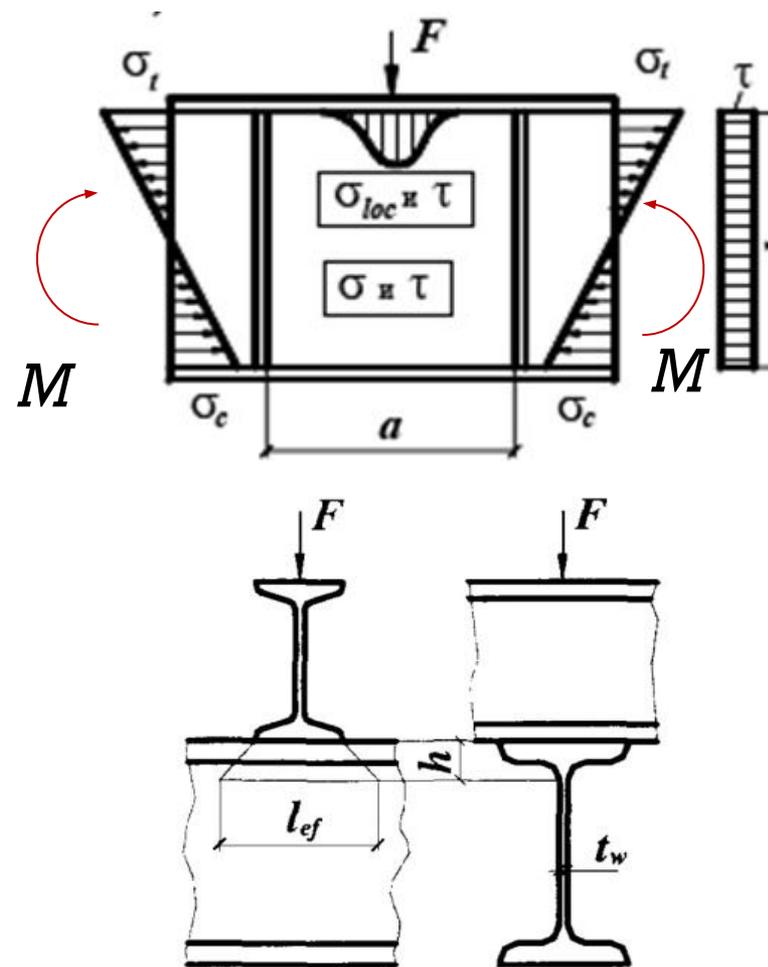
- при действии  
**поперечной силы**

$$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \gamma_c} \leq 1$$

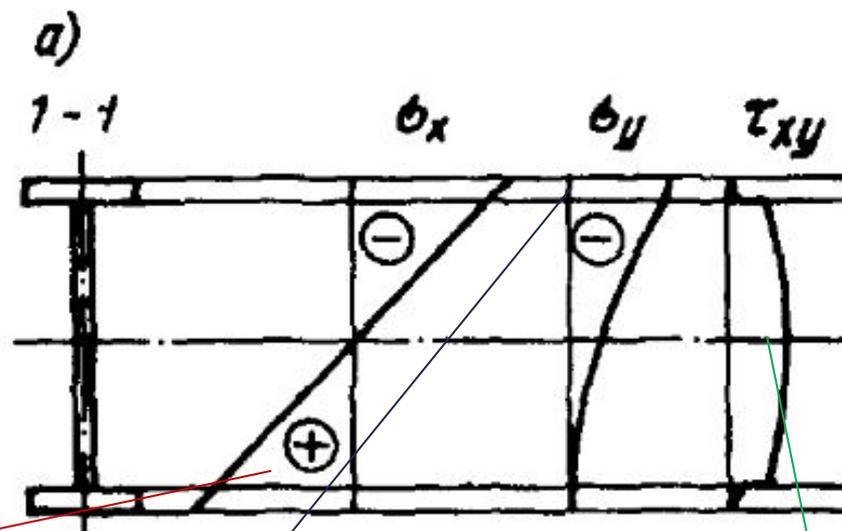
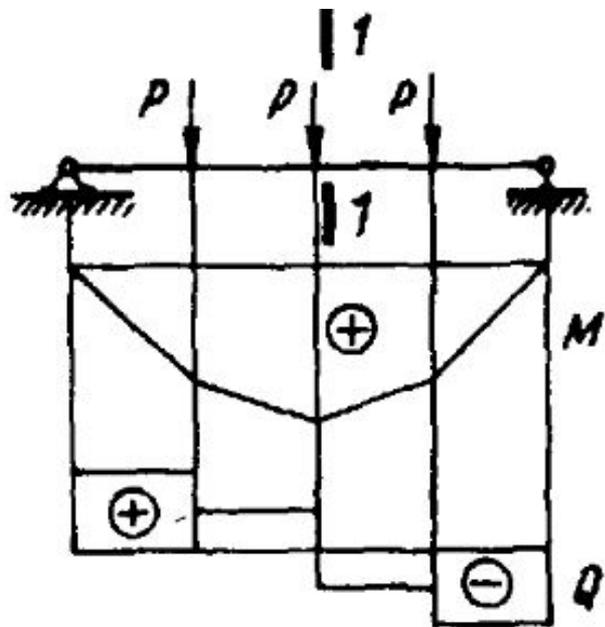
- при действии  
**местных**

**напряжений**

$$\sigma_{loc} = F / (l_{ef} t_w) \quad l_{ef} = b + 2h$$



# Виды напряжений



нормальные напряжения  $\sigma_x$  (по оси  $x$ ) - от общей работы элемента в его плоскости

касательные напряжения  $\tau_{xy}$  (равны в направлениях осей  $x$  и  $y$ ) - от общей работы элемента в его плоскости

нормальные напряжения  $\sigma_y$  в (по оси  $y$ ) - от работы элемента на локальную нагрузку или нагрузку в другой плоскости

- условие прочности при совместном действии нормальных и касательных напряжений

$$\frac{0,87}{R_y \gamma_c} \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1$$

где

$$\sigma_x = M_x \cdot y / I_{xn}$$

$$\sigma_y = \sigma_{loc}$$

$$\tau_{xy} = QS / (It_w)$$

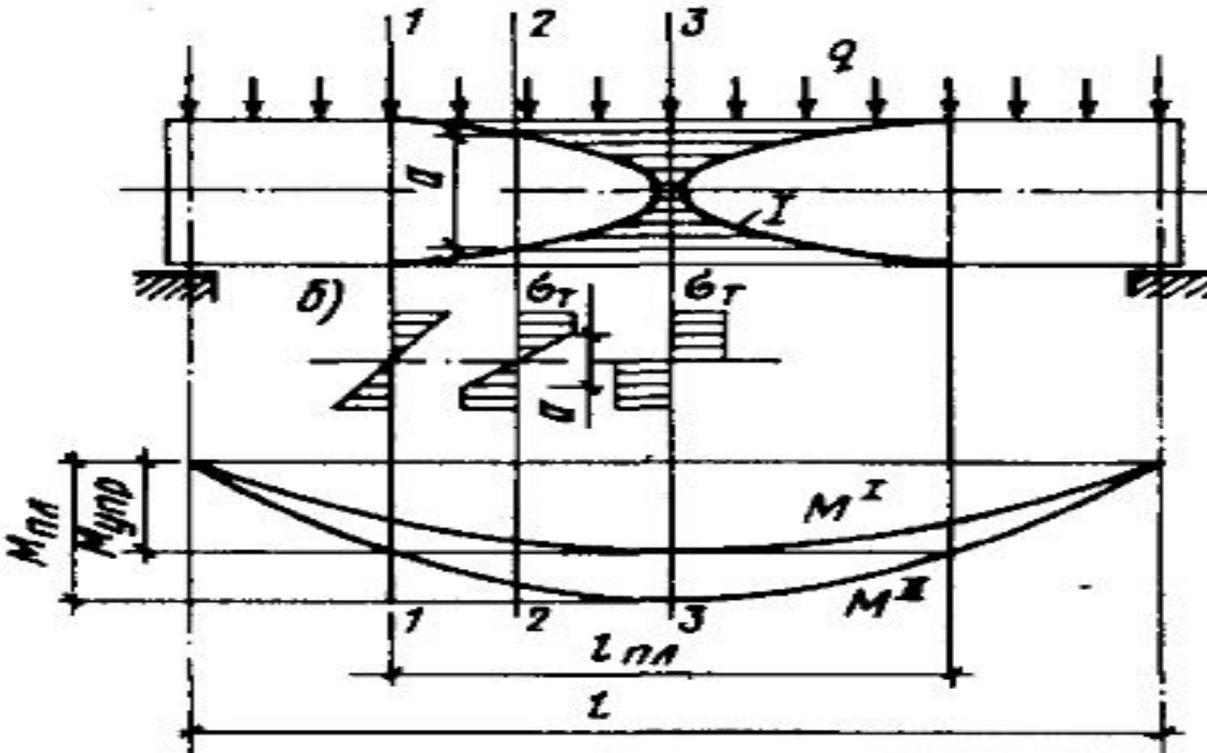
- условия прочности изгибаемого элемента с учетом развития пластических деформаций (сечения элементов 2-го класса)

- при действии  
момента

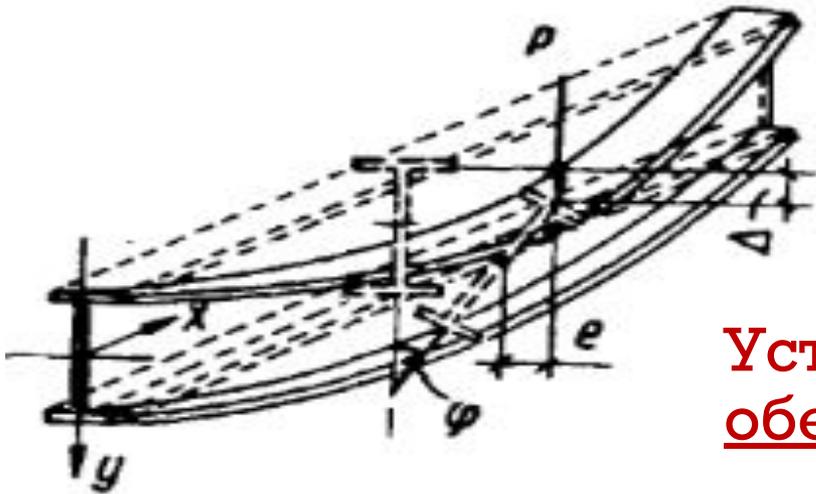
$$\frac{M_x}{c_x \beta W_{xл, \min} R_y \gamma_c} \leq 1$$

- при действии  
поперечной силы

$$\frac{Q_x}{A_w R_s \gamma_c} \leq 1$$



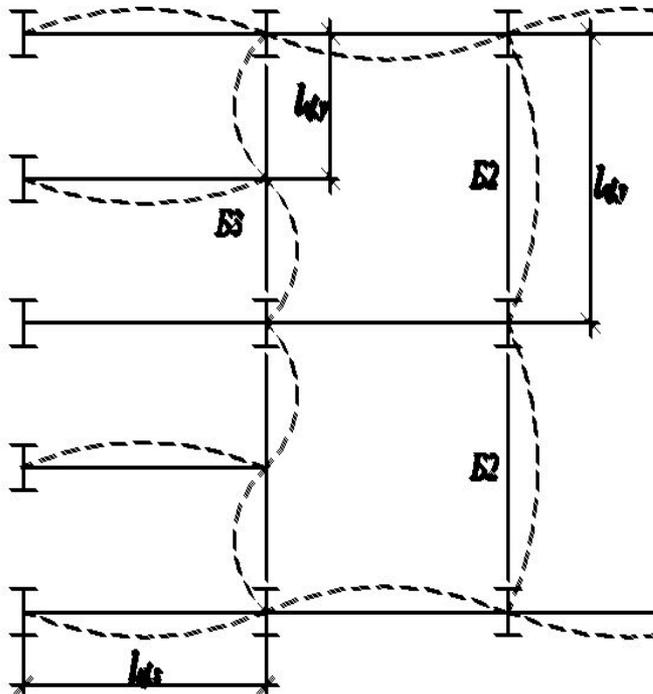
- условие устойчивости (общей) изгибаемого



$$\frac{M_x}{\varphi_b W_{cx} R_y \gamma_c} \leq 1$$

Устойчивость балок следует считать обеспеченной в следующих случаях:

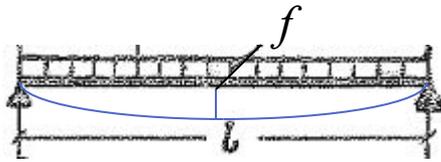
- при передаче нагрузки через сплошной жесткий настил
- при значениях **условной гибкости сжатого пояса** балки не превышающих ее предельных значений



$$\bar{\lambda}_b = (l_\phi / b) \sqrt{R_y / E} \leq \bar{\lambda}_{ub}$$

- условие жесткости (по предельно допустимому прогибу)

$$f_{\max} \leq f_u$$



$$f_{\max} = \frac{5}{384} \frac{q_n l^4}{EI}$$



$$f_{M_{\max}} = f_0 - a = \frac{5q_n l^4}{384EI} - 0,2$$

$$1,0 \leq l_n \leq 3,0 \text{ м} - f_u = \frac{l}{150}$$

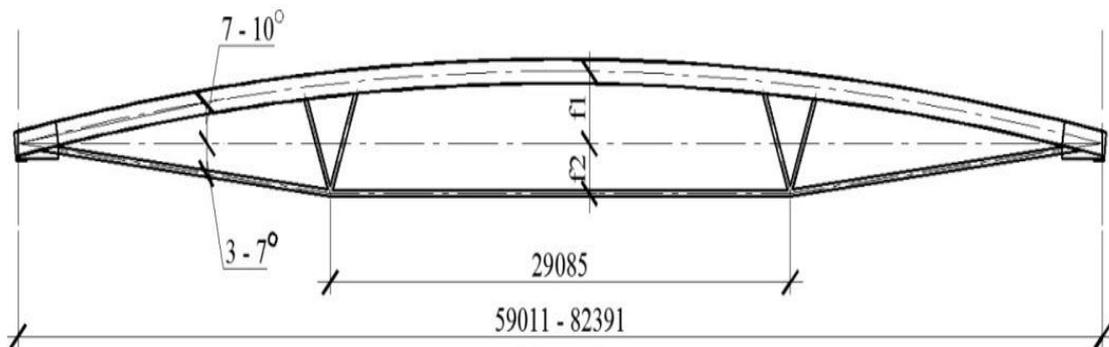
$$3,0 \leq l_n \leq 6,0 \text{ м} - f_u = \frac{l}{200}$$

$$6,0 \leq l_n \leq 24,0 - f_u = \frac{l}{250}$$

предельные  
прогибы по  
СП

20.13330.2011

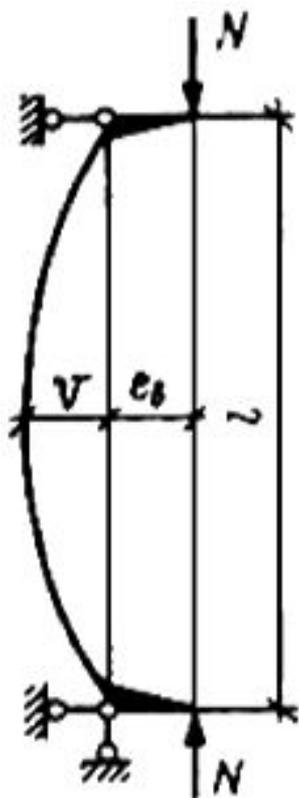
# 6. ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



$$e_{\max} = M_{\max} / N$$

$$m = eA / W_c$$

$$m_{ef} = \eta m$$



**Внецентренное  
сжатие**

$$m (m_{ef}) < 20$$

**расчет  
прочности и  
устойчивости**

**Сжатие с изгибом**

$$m (m_{ef}) \geq 20$$

**расчет  
прочности**

- расчет прочности

$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{xn, \min} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y W_{yn, \min} R_y \gamma_c} + \frac{B}{W_{\omega n, \min} R_y \gamma_c} \leq 1$$

$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M}{W_x R_y \gamma_c} \leq 1$$

- расчет устойчивости (общей)

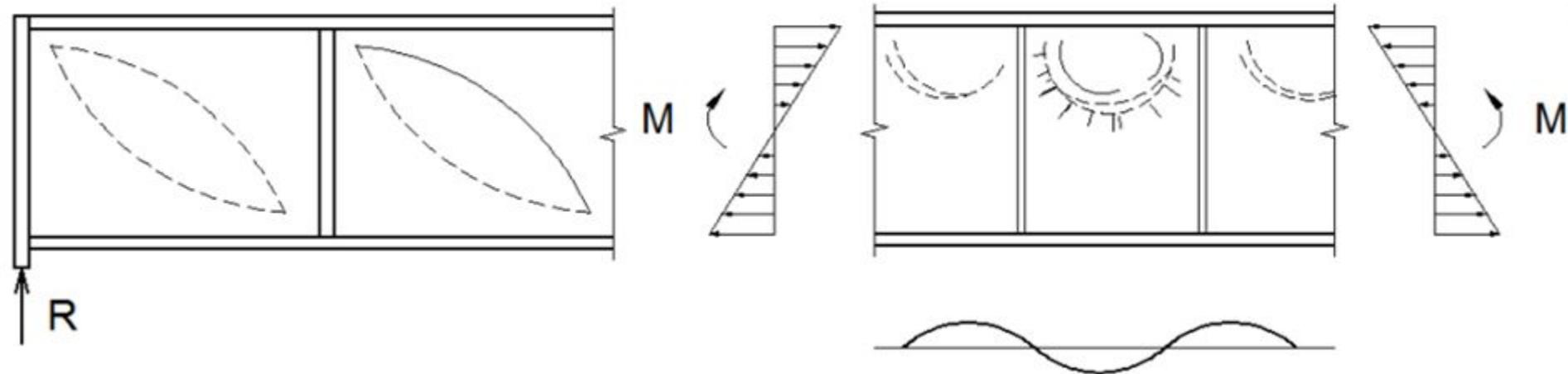
$$\frac{N}{(\varphi_e A)} \leq R_y \gamma_c$$

- условие по предельной гибкости

$$\lambda \leq \lambda_u$$

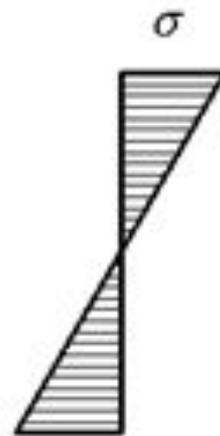
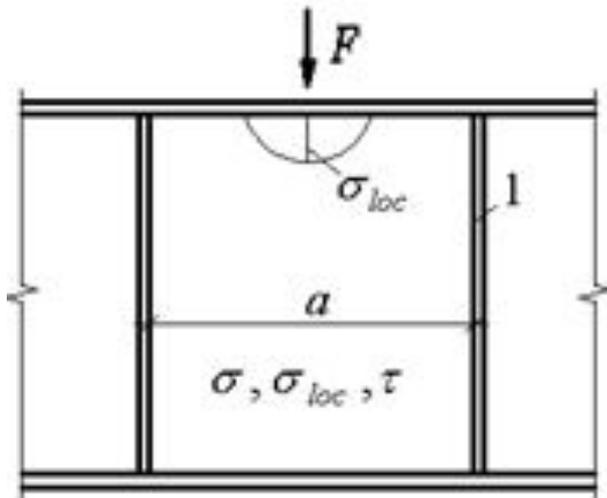
# 7. МЕСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНЫХ СЕЧЕНИЙ

## *Местная устойчивость стенки балки*

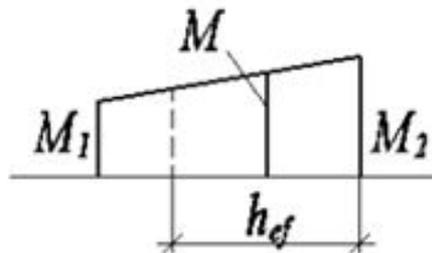
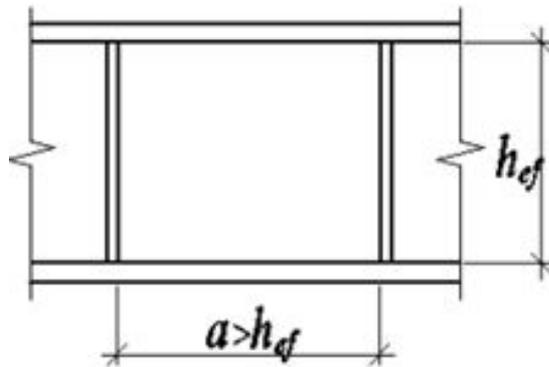
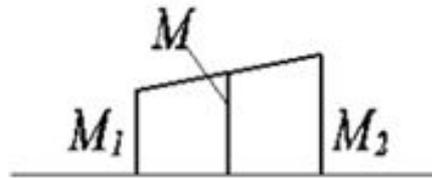
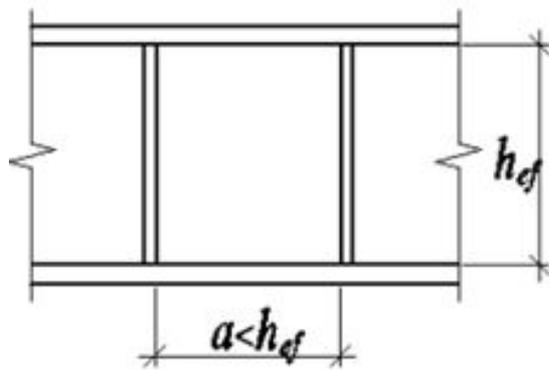


▪ *Условная гибкость стенки*

$$\bar{\lambda}_w = (h_{ef} / t_w) \sqrt{R_y / E} \leq 6 \sqrt{R_y / \sigma}$$



■ **Условие местной устойчивости  
стенки балки**



$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} / \gamma_c \leq 1$$

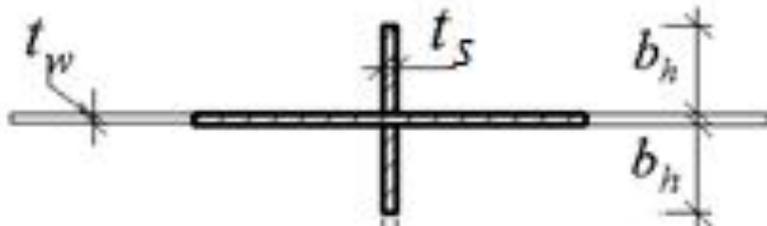
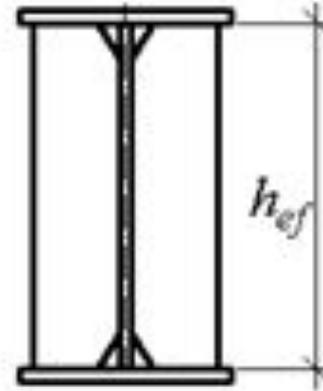
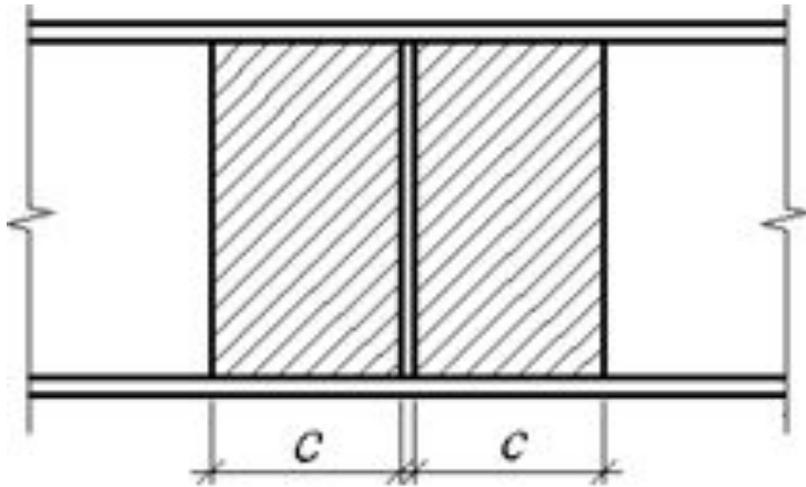
где

$$\sigma = \frac{M}{I} y \quad \sigma_{cr} = \frac{c_{cr} R_y}{\bar{\lambda}_w^2}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_w} \quad \tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2}\right) \frac{R_s}{\bar{\lambda}_d^2}$$

$$\sigma_{loc} = \frac{F_{loc}}{l_{ef} t_f} \quad \sigma_{loc,cr} = c_1 c_2 R_y / \bar{\lambda}_w^{-2}$$

# Размеры поперечных основных ребер жесткости



$$b_h \geq h_{ef} / 30 + 40$$

$$t_s \geq 2b_h \sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

$$c = 0,65t_w \sqrt{E / R_y}$$

## Местная устойчивость поясного свеса

### ▪ гибкость свеса полки

$$\lambda_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 12,8 \div 14,6$$

где 
$$b_{ef} = \frac{b_f - t_w}{2}$$

