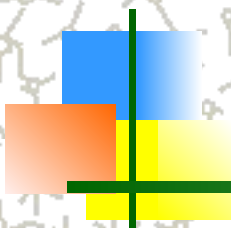
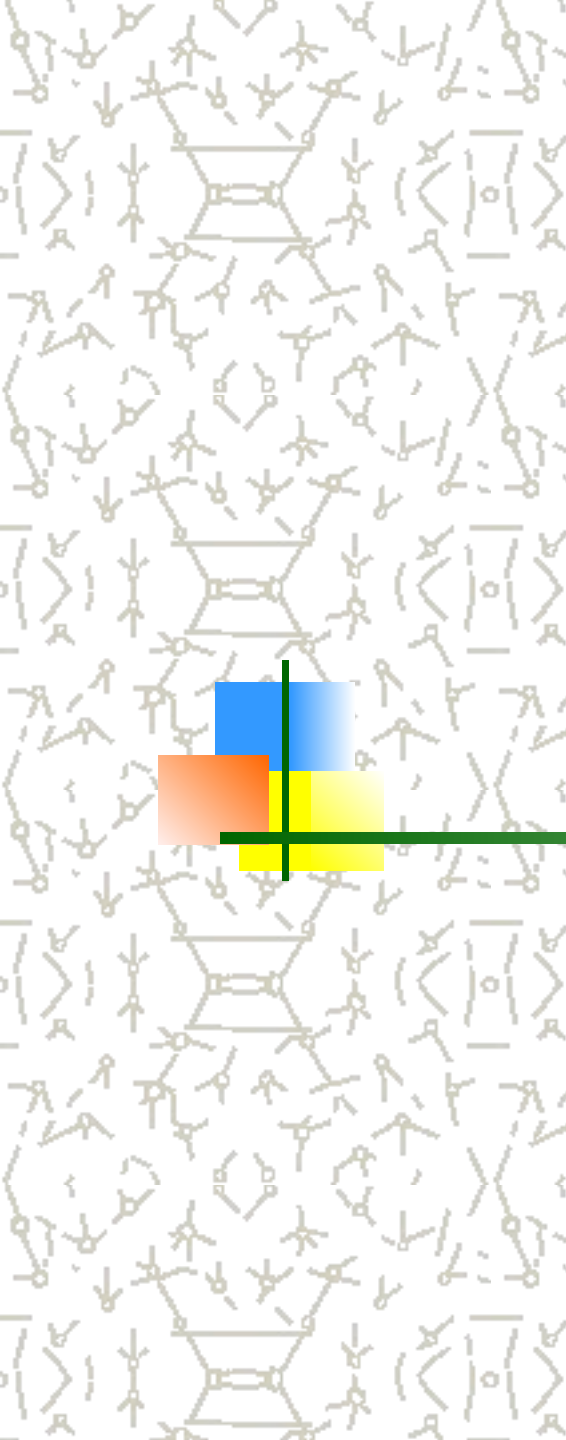


Раздел II

## **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**





# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

- 1.1. Материалы для металлических конструкций
- 1.2. Преимущества и недостатки стальных конструкций
- 1.3. Область применения стальных конструкций
- 1.4. Структура стоимости стальных конструкций
- 1.5. Сортамент

1.1.

# Материалы для металлических конструкций

Для строительных металлических конструкций в основном используется сталь и значительно реже – алюминиевые сплавы.

1.2.

# Преимущества и недостатки стальных конструкций

[+]

- Надёжность работы, обусловленная однородностью структуры стали;
- Высокая прочность при относительно небольшой собственной массе;
- Высокая индустриальность, удобство изготовления и усиления;
- Непроницаемость для жидкостей и газов.

[-]

- Подверженность коррозии;
- Низкая огнестойкость, необходимость устройства огнезащиты;
- Высокая стоимость.

1.3.

## Область применения стальных конструкций

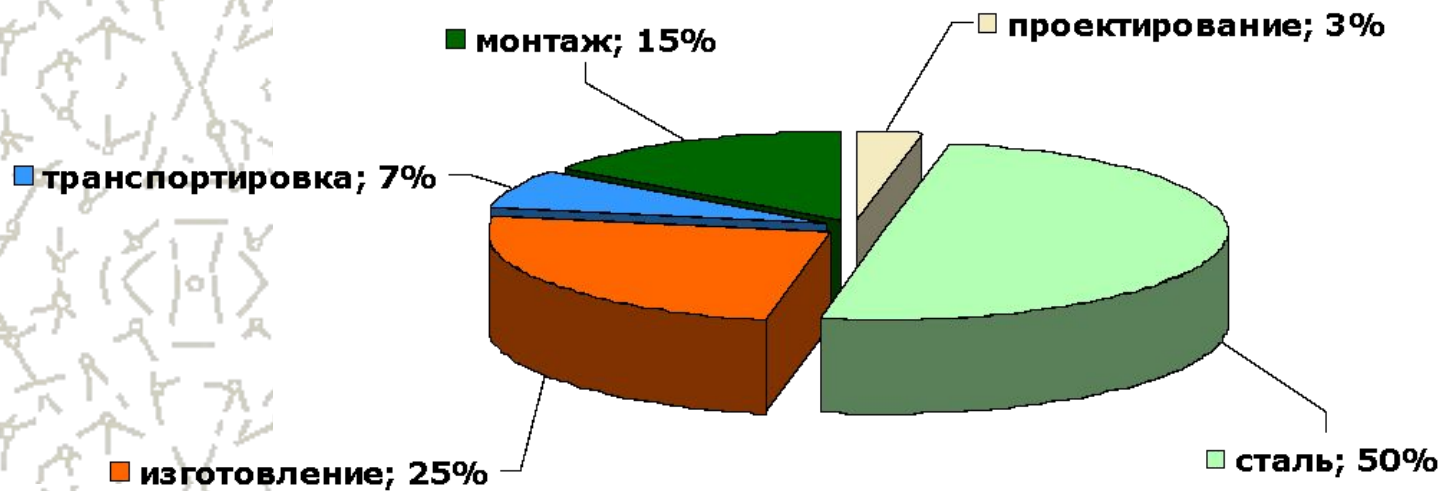
- Каркасы промышленных зданий – одноэтажных (ОПЗ) и многоэтажных (МПЗ);
- Каркасы многоэтажных и высотных гражданских зданий;
- Большепролётные покрытия зданий и сооружений (рынки, ангары);
- Мосты, эстакады;
- Башни и мачты;
- Резервуары;
- Конструкции подъёмно-транспортного оборудования (краны).

**Эффективность применения стальных конструкций повышается с увеличением пролётов, высоты сооружений и возрастанием нагрузок на них.**

1.4.

## Структура стоимости стальных конструкций

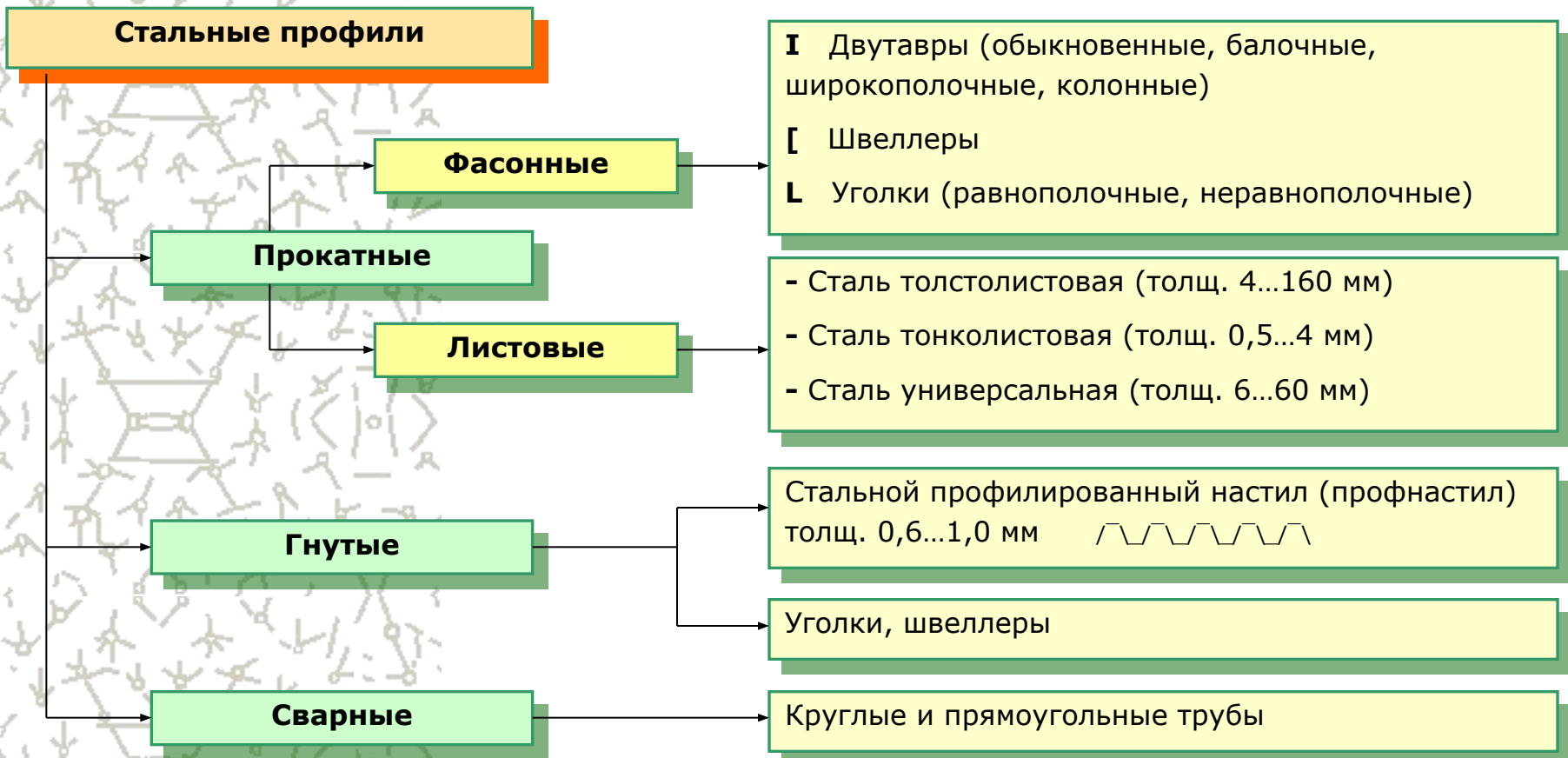
Наиболее значительную часть стоимости металлических конструкций составляет стоимость материала:



1.5.

# Сортамент

**Сортамент** – это каталог профилей с указанием формы сечения, геометрических характеристик и массы единицы длины.





## 2. СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ

- 2.1. Химический состав строительных сталей
- 2.2. Диаграмма деформирования стали
- 2.3. Нормирование механических характеристик стали
- 2.4. Маркировка строительных сталей
- 2.5. Классификация строительных сталей по прочности



## 2.1.

# Химический состав строительных сталей

*Сталь – это сплав железа с углеродом и некоторыми добавками.*

**Железо** обеспечивает пластичность. Пластическое разрушение происходит постепенно, ему предшествуют значительные деформации, поэтому развитые пластические свойства имеют существенное значение для безопасной работы конструкции.

**Углерод** обеспечивает прочность, но снижает пластичность и свариваемость, поэтому содержание углерода ограничивается (не более 0,22 %).

**Легирующие добавки** (кремний, марганец, медь, хром, никель, ванадий, молибден, алюминий) повышают прочность и пластичность стали. В основном применяются *низколегированные* стали с суммарным содержанием легирующих добавок не более 5 %.

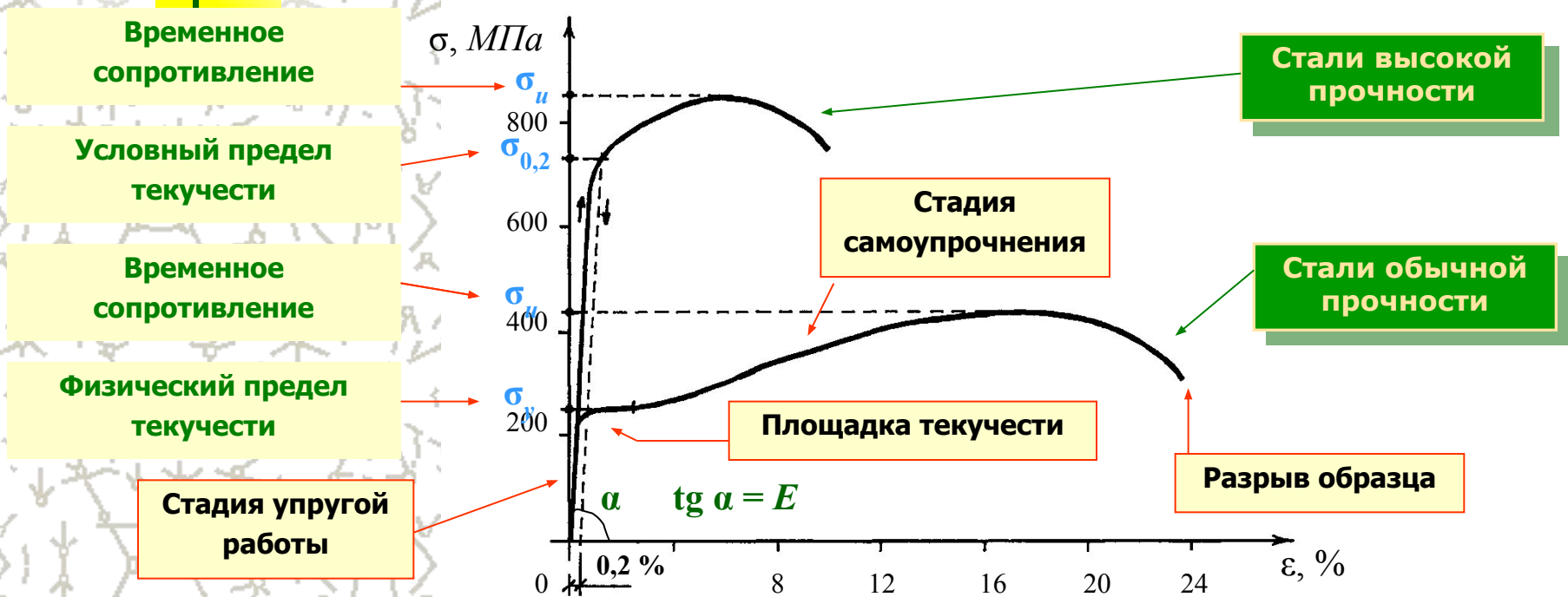
**Вредные примеси** (сера, фосфор, кислород, водород, несвязанный азот) повышают хрупкость стали; их содержание ограничивается (не более 0,04...0,05 %). Во избежание попадания вредных примесей при сварке расплавленный металл необходимо защищать от воздействия атмосферы.

### Способы повышения прочности стали:

- *легирование;*
- *термическое упрочнение* (нагрев и последующее охлаждение по заданному режиму).

## 2.2.

# Диаграмма деформирования стали



**Физический предел текучести ( $\sigma_y$ )** – напряжение, при котором происходит рост пластических деформаций без увеличения внешней нагрузки;

**Условный предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ )** – напряжение, при котором остаточные деформации составляют 0,2%;

**Временное сопротивление ( $\sigma_u$ )** – напряжение, которое соответствует наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

## 2.3.

# Нормирование механических характеристик стали

**Нормативное сопротивление материала** – это значение его прочностной характеристики, принятое с обеспеченностью **0,95** на основании статистической обработки результатов стандартных испытаний образцов;

**Расчётное сопротивление** определяется делением нормативного на коэффициент надёжности по материалу  $\gamma_m$ ;

для стали  $\gamma_m = 1,025...1,15$  (в зависимости от марки); для бетона  $\gamma_m = 1,15...1,50$ .

### Условные обозначения

	Нормативное сопротивление	Расчётное сопротивление
по пределу текучести ( $\sigma_y$ )	$R_{yn}$	$R_y$
по временному сопротивлению ( $\sigma_u$ )	$R_{un}$	$R_u$

**Модуль упругости** принимается постоянным для всех марок стали:  $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

## 2.4.

## Маркировка строительных сталей

C 235

Сталь строительная

 $R_{yn}$  (с округлением до 5 МПа).

## Нормативные и расчётные сопротивления проката, МПа

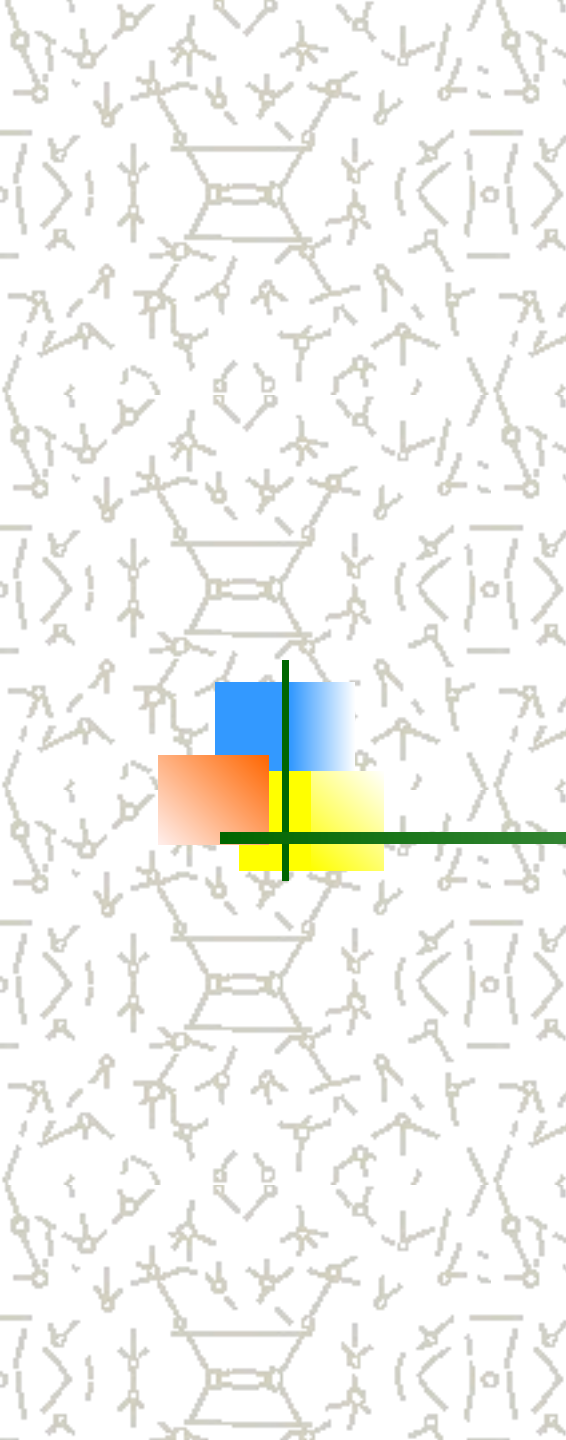
Марка стали	толщина проката, мм	нормативные				расчётные			
		листового, широкополочного, универсального		фасонного		листового, широкополочного, универсального		фасонного	
		$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
C 245	от 2 до 20 св. 20 до 30	245	370	245	370	240	360	240	360
		-	-	235	370	-	-	230	360
C 345	от 2 до 10 св. 10 до 20 св. 20 до 40	345	490	345	490	335	480	335	480
		325	470	325	470	315	460	315	460
		305	460	305	460	300	450	300	450
C 375	от 2 до 10 св. 10 до 20 св. 20 до 40	375	510	375	510	365	500	365	500
		355	490	355	490	345	480	345	480
		335	480	335	480	325	470	325	470

2.5.

## Классификация строительных сталей по прочности

Характеристика	Марки	Состав
Стали обычной прочности	C235; C245; C255; C275; C285	малоуглеродистые
Стали повышенной прочности	C345; C375; C390	малоуглеродистые - термически упрочнённые; низколегированные
Стали высокой прочности	C440; C590	

Стали обычной прочности имеют ограниченное применение в районах с низкими климатическими температурами (ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ).



## 3. ОСНОВЫ РАСЧЁТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

- 3.1. Предельные состояния металлических конструкций
- 3.2. Расчёт на прочность при растяжении
- 3.3. Расчёт на прочность при плоском изгибе
- 3.4. Расчёт на прочность при срезе и смятии
- 3.5. Расчёт на общую устойчивость
- 3.6. Расчёт на местную устойчивость

3.1.

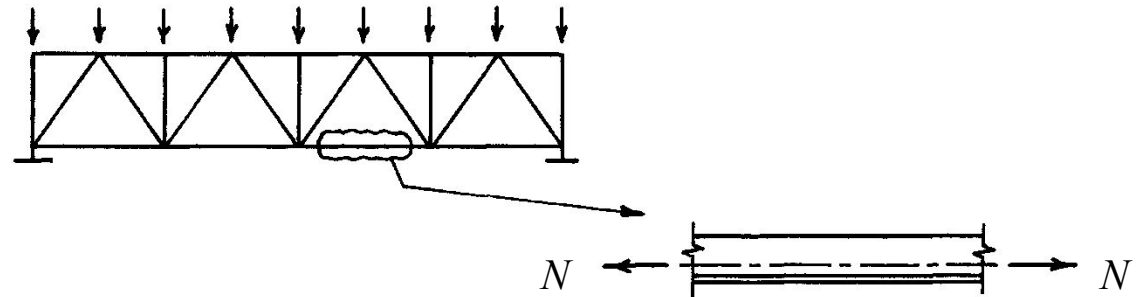
# Пределные состояния металлических конструкций

Группы предельных состояний	Основные расчёты	Учитываемые нагрузки
<b>Первая группа</b> – по несущей способности	<ul style="list-style-type: none"><li>• на прочность;</li><li>• на устойчивость (общую и местную)</li></ul>	расчётные
<b>Вторая группа</b> – по пригодности к нормальной эксплуатации	<ul style="list-style-type: none"><li>• на жёсткость (деформативность)</li></ul>	нормативные

Для конструкций, непосредственно испытывающих воздействие многократно-повторных нагрузок (мосты, подкрановые балки), дополнительно проводят расчёт на выносливость (1-я группа предельных состояний).

### 3.2.

## Расчёт на прочность при осевом растяжении



4 Условие прочности:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c;$$

$\sigma$  – нормальные напряжения; кН/см<sup>2</sup>;

$N$  – расчётное продольное усилие, кН;

$A_n$  – площадь сечения нетто (с учётом ослаблений), см<sup>2</sup>;

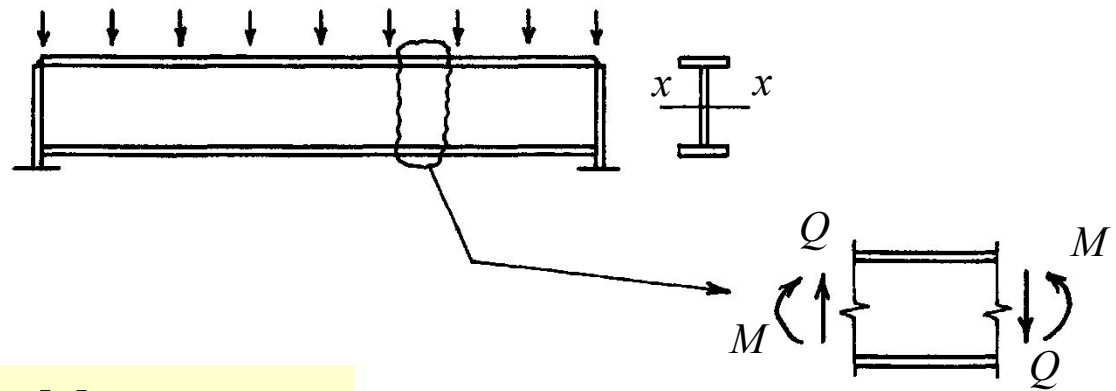
$R_y$  – расчётное сопротивление стали по пределу текучести, кН/см<sup>2</sup>;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы (по табл. 6\* СНиП II-23-81\*); учитывает неблагоприятные условия работы элементов, обычно равен 1,00.



### 3.3.

## Расчёт на прочность при плоском изгибе



### Условия прочности:

4 по нормальным напряжениям:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq R_y \gamma_c ;$$

4 по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{Q S_x}{t_w J_x} \leq R_s \gamma_c ;$$

4 по приведённым напряжениям:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c ;$$

(reduced = приведённый)

$M$  – расчётный изгибающий момент, кН·см;

$W_x$  – момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>;

$\tau$  – касательные напряжения; кН/см<sup>2</sup>;

$Q$  – расчётное поперечное усилие, кН;

$S_x$  – статический момент полусечения, см<sup>3</sup>;

$J_x$  – момент инерции сечения, см<sup>4</sup>;

$t_w$  – толщина стенки, см;

$R_s$  – расчётное сопротивление стали срезу, кН/см<sup>2</sup>;  $R_s = 0,58 R_y$ ;

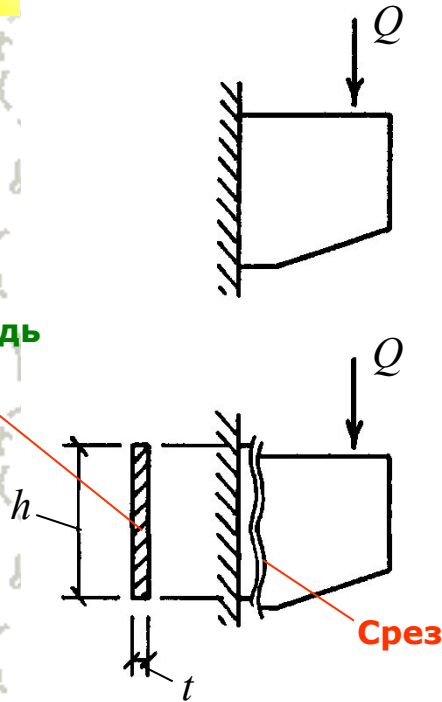
1,15 – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций.

### 3.4.

# Расчёт на прочность при срезе и смятии

Срез

Площадь среза



4 Условие прочности:

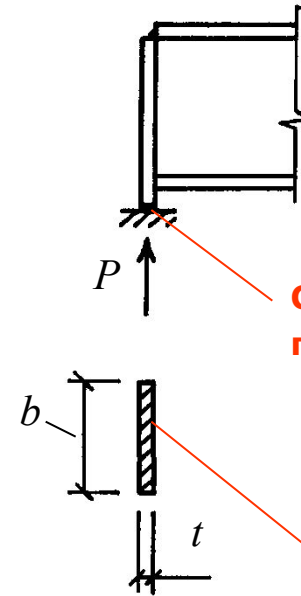
$$\tau = \frac{Q}{ht} \leq R_s \gamma_c;$$

$Q$  – расчётное поперечное усилие, кН;  
 $ht$  – площадь среза, см<sup>2</sup>.

Смятие

Смятие торцевой поверхности

Площадь смятия



4 Условие прочности:

$$\sigma = \frac{P}{bt} \leq R_p \gamma_c;$$

$P$  – расчётное усилие, кН;

$bt$  – площадь смятия, см<sup>2</sup>;

$R_p$  – расчётное сопротивление смятию;  $R_p = R_u$ .

### 3.5.

## Расчёт на общую устойчивость

4. Условие устойчивости при осевом сжатии:

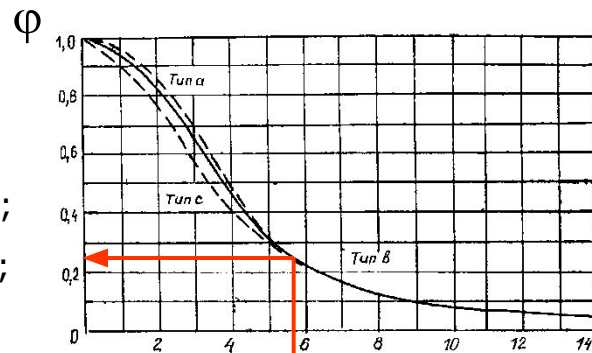
$$\sigma = \frac{N}{A\phi} \leq R_y \gamma_c;$$

$N$  – расчётное продольное усилие, кН;  
 $\phi$  – коэффициент продольного изгиба; определяется по табл. 72\* СНиП II-23-81\* (или по графику □) в зависимости от максимальной гибкости стержня  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i};$$

$l_{ef}$  – расчётная длина стержня, см;  
 $i$  – радиус инерции сечения, см.

**Потеря общей устойчивости** характеризуется изменением первоначальной формы деформирования всей конструкции под действием сжимающей нагрузки.

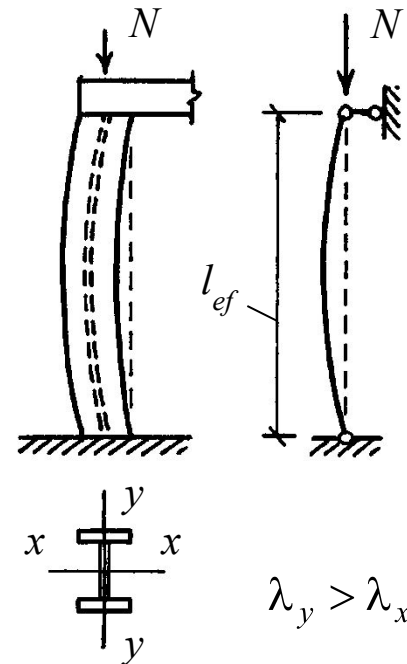


$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

условная гибкость

констр. сх.

расч. сх.

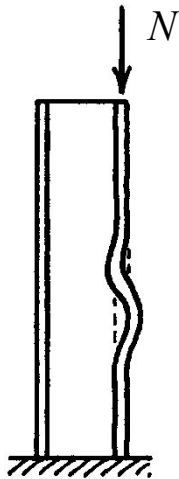


Потеря устойчивости происходит относительно оси с наибольшей гибкостью, при этом стержень искривляется в направлении, перпендикулярном этой оси.

### 3.6.

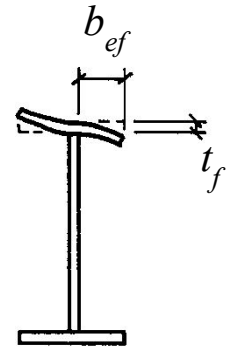
## Расчёт на местную устойчивость

Изменение первоначальной формы отдельного элемента конструкции при сохранении формы всей конструкции называется **потерей местной устойчивости**.



#### 4 Общий вид условия обеспечения местной устойчивости полки:

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq k \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} ;$$



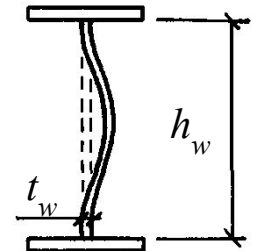
$b_{ef}$  – ширина свеса полки, см;

$t_f$  – толщина полки, см;

$k$  – коэффициент, определяемый по СНиП II-23-81\*.

#### 4 Общий вид условия обеспечения местной устойчивости стенки:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} ;$$



$h_w$  – высота стенки, см;

$t_w$  – толщина стенки, см;

$k$  – коэффициент, определяемый по СНиП II-23-81\*.