

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уфимский государственный нефтяной  
технический университет»

Архитектурно-строительный институт  
Кафедра Строительные конструкции

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ, ВКЛЮЧАЯ СВАРКУ *ЧАСТЬ 1 ЭЛЕМЕНТЫ И СОЕДИНЕНИЯ*

Ауд. 6-313

Порываев Илья Аркадьевич – ст.  
преподаватель

# ***Лекция 2 Работа стали под нагрузкой***

## ***Основы расчета стальных конструкций***

1. Работа стали под нагрузкой
2. Расчет стальных конструкций методом предельных состояний
3. Сортамент

# *Работа стали под нагрузкой*



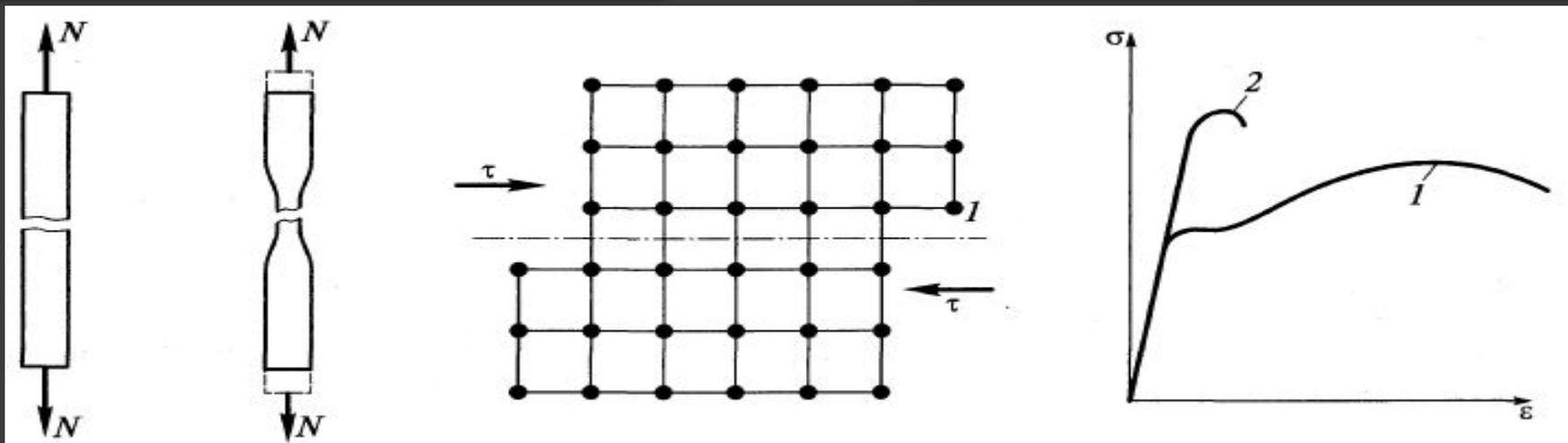
# Механизм разрушения стали

**Хрупкое**

**Вязкое**

**Отрыв**

**Сдвиг**



Теоретическая прочность стали при отрыве  $3300 \text{ кН/см}^2$  ( $336,4 \text{ т/см}^2$ )  
при сдвиге  $1300 \text{ кН/см}^2$  ( $132,5 \text{ т/см}^2$ )

Стальная проволока –  $400 \text{ кН/см}^2$ , строительные стали  $< 100 \text{ кН/см}^2$

Дефекты кристаллической решетки, дислокации

# Хрупкое разрушение



# Работа стали при одноосном растяжении

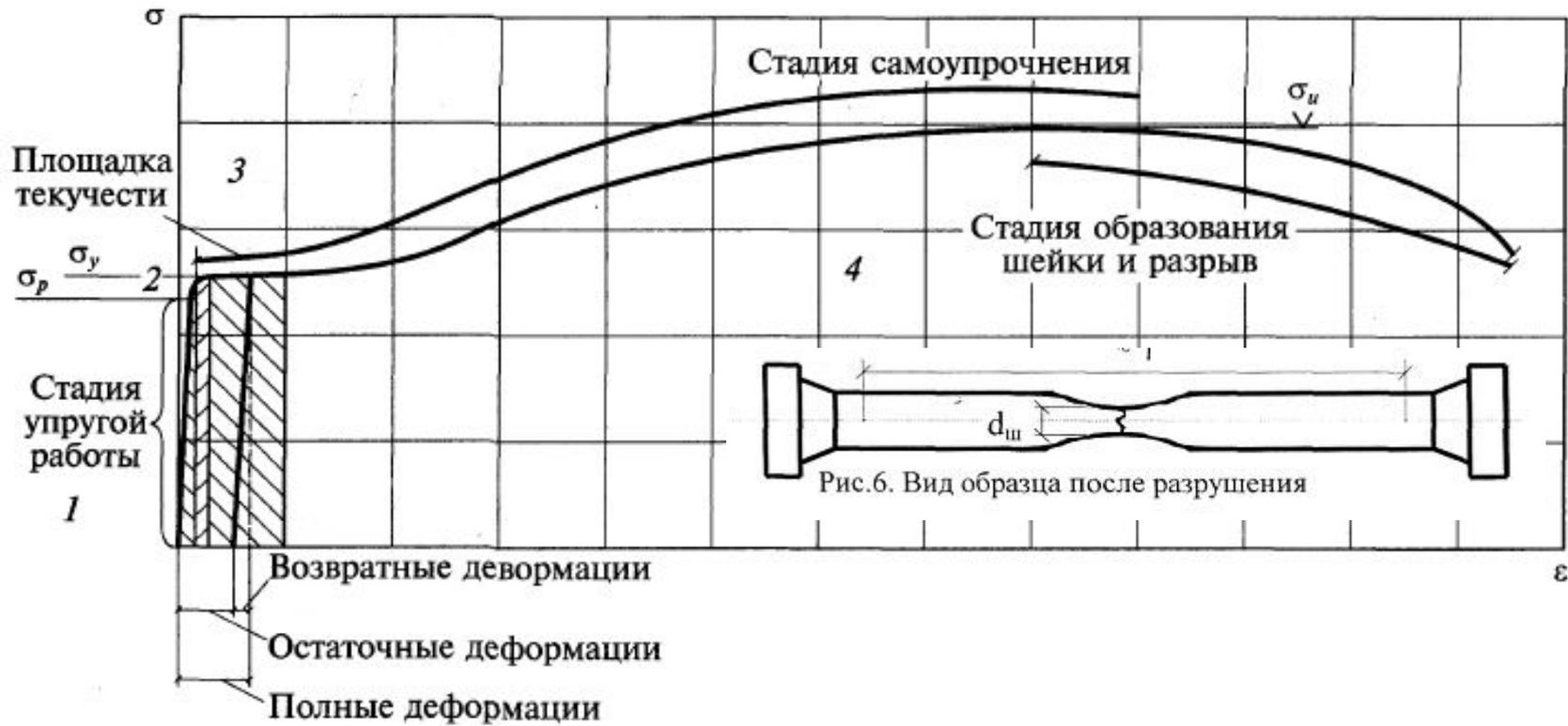


Рис.6. Вид образца после разрушения

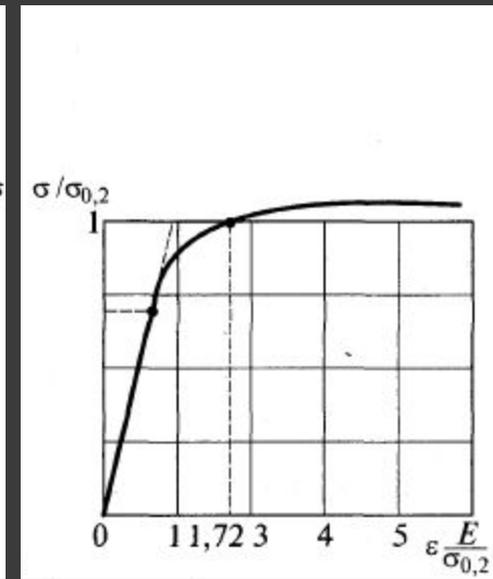
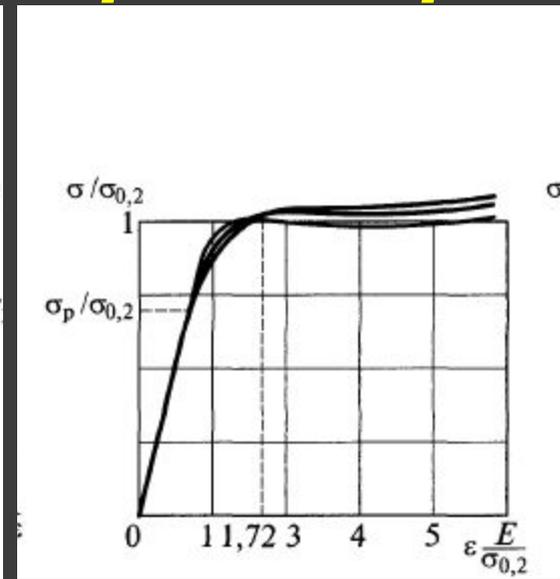
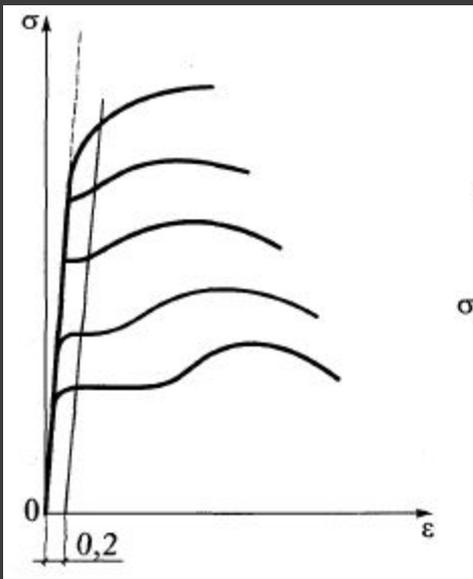
$$\sigma_y / \sigma_u (\sigma_{0,2} / \sigma_u) \quad 0,6 (0,8...0,9)$$

Резерв прочности, возможность работы за пределом упругости

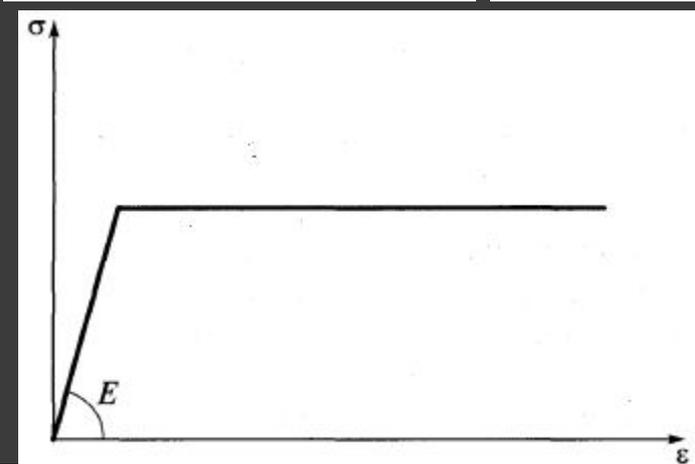
$$\sigma_p / \sigma_y \quad 0,8...0,85 (\text{до } 0,5)$$

Соппротивление малым пластическим деформациям

# Унифицированная и идеализированная диаграммы работы стали



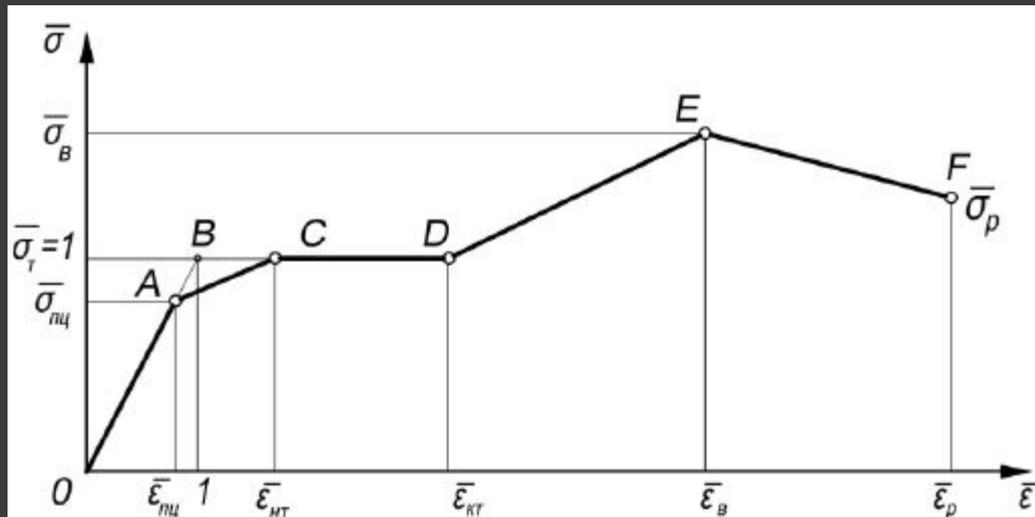
Унифицир  
ованная  
диаграмма



Идеализированная диаграмма упругопластического тела, совершенно упругого до предела текучести и совершенно пластичного после него (**диаграмма Прандтля**)

При сжатии коротких образцов характер работы и основные показатели не меняются

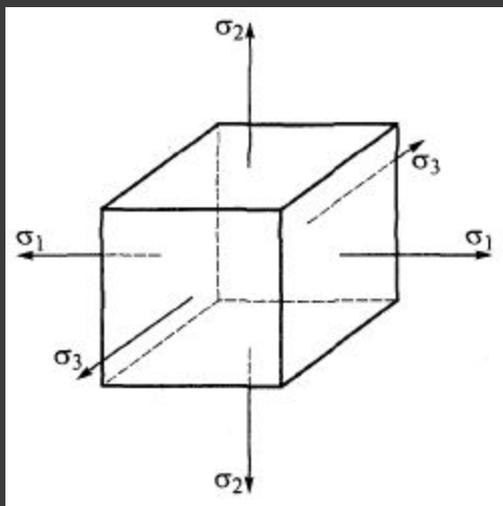
# Обобщенная расчетная диаграмма работы строительных сталей



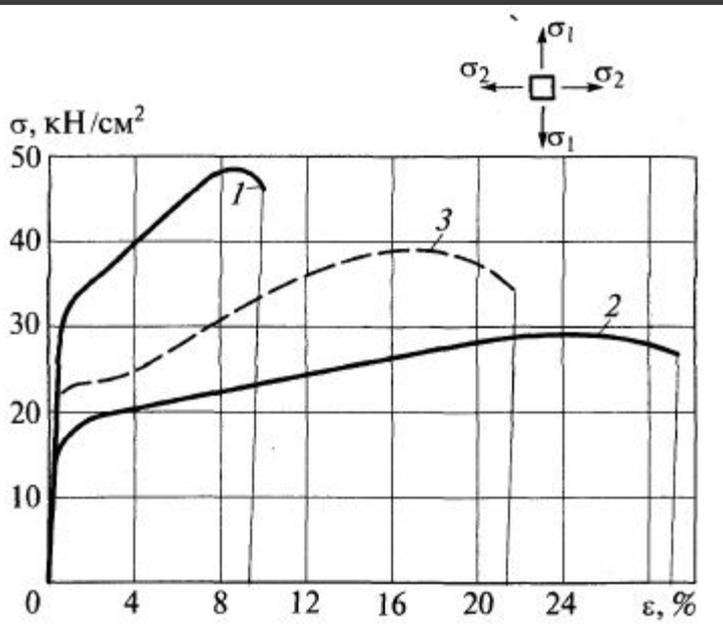
СП 16.13330.2017  
Приложение В

Параметр диаграммы	Стали				
	C245, C255	C345, C345К, C355, C355-1, C355П	C390, C390-1	C440	C550, C590
$\bar{\varepsilon}_{пц}$	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
$\bar{\sigma}_{пц}$	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
$\bar{\varepsilon}_{нт}$	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
$\bar{\sigma}_т$	1	1	1	1	1
$\bar{\varepsilon}_{кт}$	14,0	16,0	17,0	17,0	18,0
$\bar{\varepsilon}_в$	141,6	88,3	67,1	49,6	26,2
$\bar{\sigma}_в$	1,653	1,415	1,345	1,33	1,16
$\bar{\varepsilon}_р$	251	153	115	87,2	51,1
$\bar{\sigma}_р$	1,35	1,26	1,23	1,20	1,10

# Работа стали при сложном напряженном состоянии



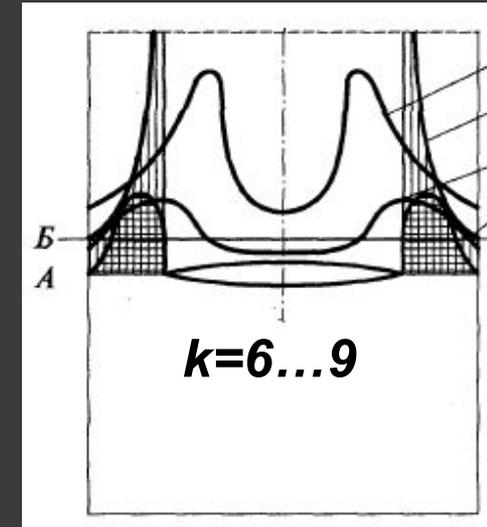
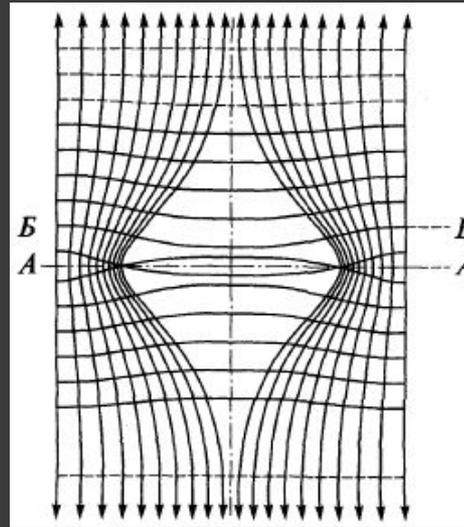
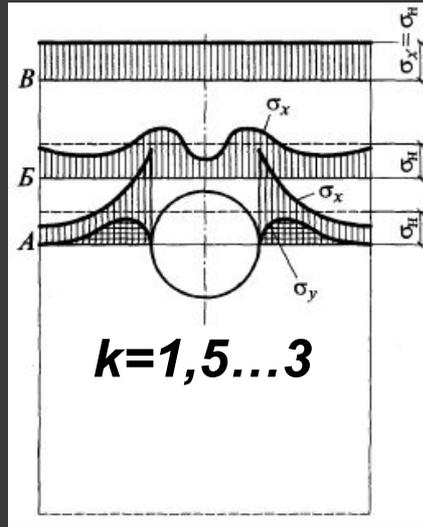
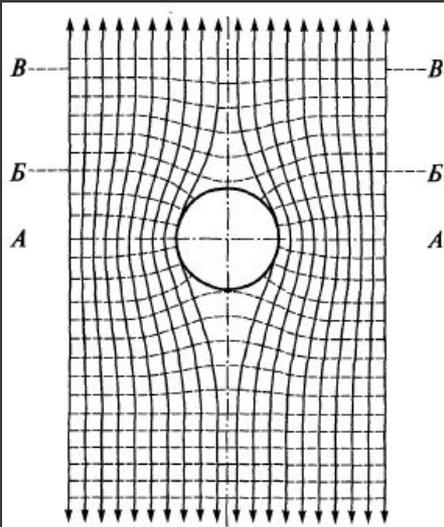
Переход в пластическое состояние зависит от знака и соотношения значений действующих напряжений



- 1 – однозначное поле напряжений
- 2 – разнозначное поле напряжений
- 3 – одноосное растяжение

Условие перехода материала в пластическое состояние устанавливается на основании теории прочности

# Работа стали при неравномерном распределении напряжений. Концентрация напряжений



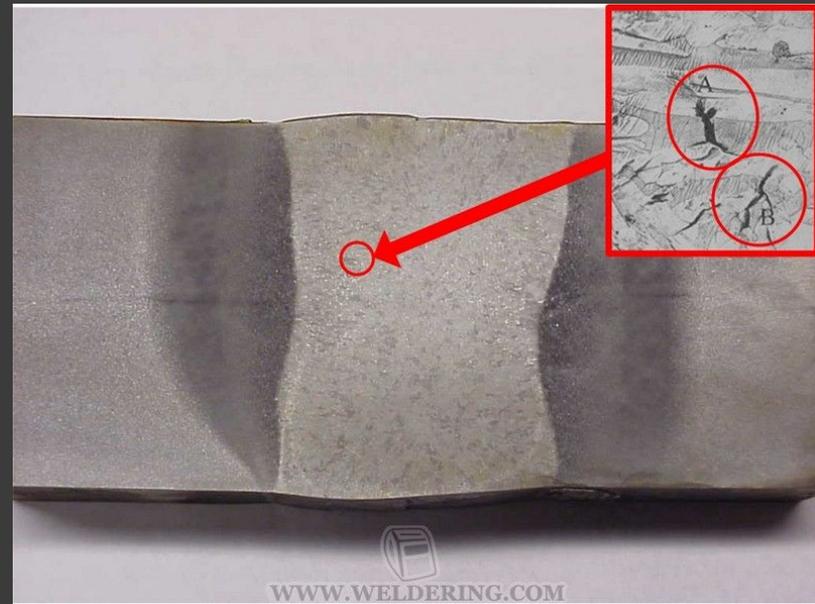
В местах искажения сечения возникают концентраторы напряжений: линии главных напряжений искривляются и сгущаются. Неравномерность распределения напряжений характеризуется **коэффициентом концентрации**

$$k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_H}$$

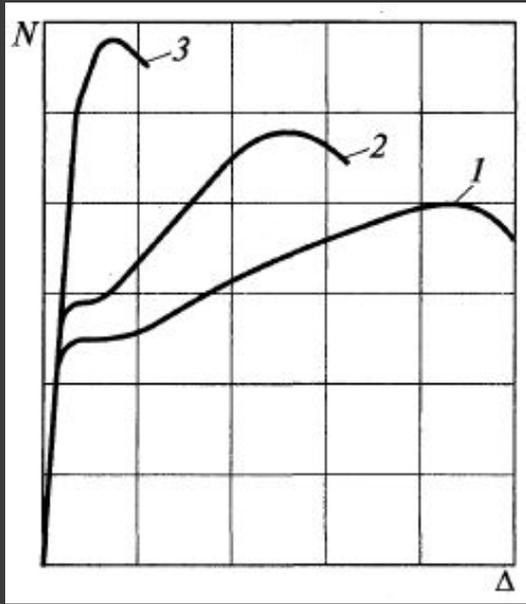
$\sigma_{\max}$  – максимальные напряжения в зоне концентрации

$\sigma_H = \frac{N}{A_0}$  – номинальные напряжения в сечении

# Работа стали при неравномерном распределении напряжений. Концентрация напряжений



## Работа стали при неравномерном распределении напряжений. Концентрация напряжений



- 1 – гладкий образец
- 2 – образец с круглым отверстием
- 3 – образец с трещиной

При статической нагрузке и нормальной температуре влияние концентраторов напряжений не учитывается

Негативное влияние на прочность при

- Низкие температуры
- Динамические воздействия
- Температурный удар

# **Работа стали при повторных нагрузках**

Многokrатное (миллионы раз) повторное нагружение элемента может привести к разрушению при напряжениях меньше чем временное сопротивление и даже предел текучести

Это явление – **усталость металла**,  
разрушение – **усталостное**

**Выносливость** – способность металла сопротивляться усталостному разрушению

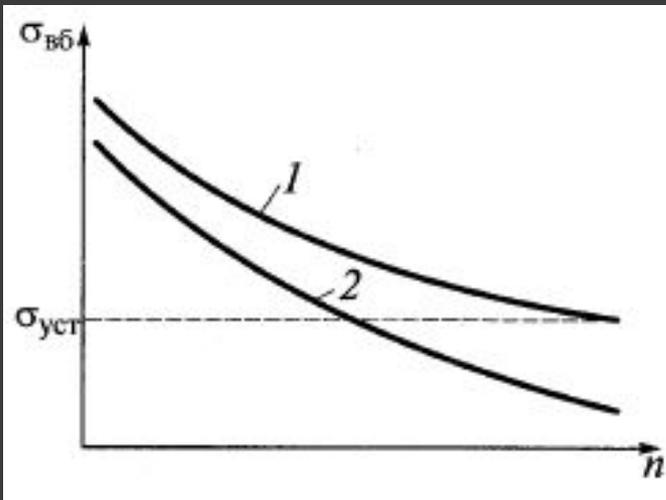
**Вибрационная прочность  $\sigma_{вб}$**  – напряжения, при которых происходит усталостное разрушение

Зависит от числа циклов нагружения  **$n$**

Коэффициента асимметрии цикла  $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$

# Работа стали при повторных нагрузках

Вибрационную прочность определяют по результатам вибрационных испытаний (как правило, на базе  $2 \cdot 10^6$  циклов нагружения)



1 — сталь

2 — алюминиевые  
сплавы

$$\sigma_{уст} = \sigma_y \dots 0,5\sigma_y$$

Относительная усталостная прочность снижается с повышением прочности стали

К значительному снижению приводит наличие концентраторов напряжений

***Расчет стальных  
конструкций методом  
пределных состояний***



# *Основные понятия*

Проектирование металлических  
конструкций



Выбор конструктивной формы



РАСЧЕТ



Разработка чертежей для изготовления и  
монтажа

# Основные понятия

Цель расчета



Строгое обоснование габаритных размеров конструкций, а также размеров поперечных сечений элементов и их соединений, обеспечивающих заданные условия эксплуатации в течение всего срока с необходимой надежностью и долговечностью при минимальных затратах материалов и труда на их создание и эксплуатацию

***Реальное проектирование – процесс поиска оптимального конструктивного решения***

# Основные понятия

## РАСЧЕТ

Выбор расчетной схемы

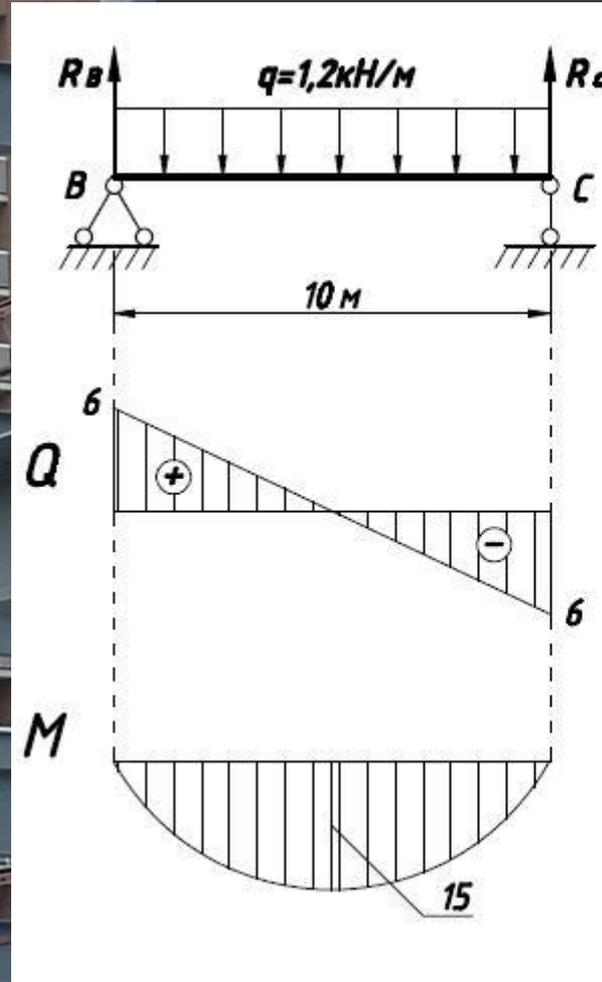
Сбор нагрузок

Определение усилий в элементах конструкций

Подбор сечений и проверка допустимости НДС конструкции в целом, ее элементов и соединений

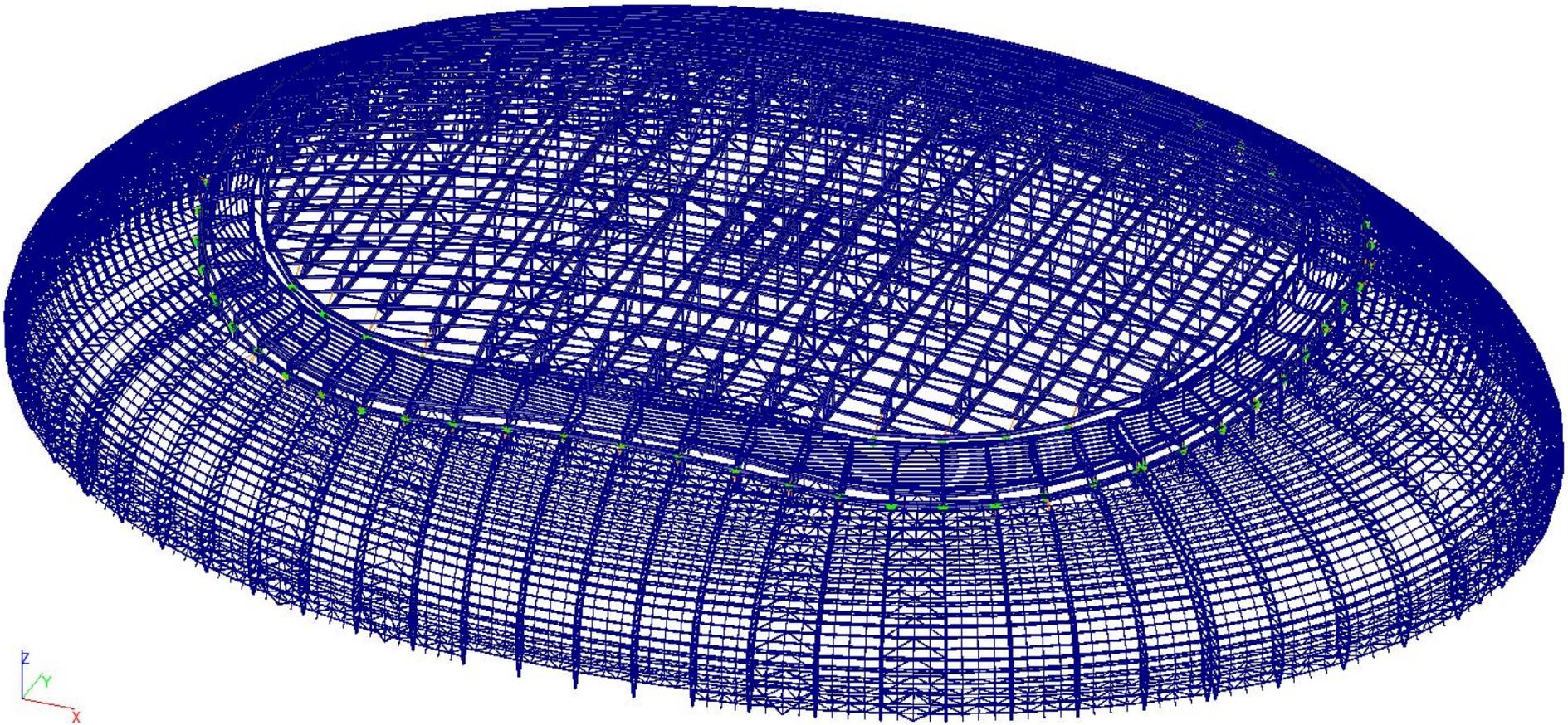
# Основные понятия

## Расчетная схема



# Основные понятия

## Расчетная схема



## Расчет строительных конструкций

Расчет по  
допускаемой  
нагрузке

$$P \leq \frac{P_{разр}}{\gamma} = [P]$$

Расчет по  
допускаемым  
напряжениям

$$\sigma \leq \frac{\sigma_y}{\gamma} = [\sigma]$$

Расчет по  
предельным  
состояниям

$$N \leq S$$

$\gamma$  – коэффициент  
запаса

$N$  – предельное **наибольшее** усилие в конструкции, вызываемое внешними воздействиями

$S$  – предельная **наименьшая** несущая способность конструкции, зависящая от прочности материала, размеров и условий ее работы

# Основы расчета СК методом предельных состояний

Цель расчета – не допустить наступление ни одного из возможных предельных состояний

**I группа** – состояния строительных объектов, превышение которых ведет к потере несущей способности СК и возникновению аварийной расчетной ситуации

Разрушение любого характера  
Потеря устойчивости элемента или сооружения в целом  
Чрезмерные деформации, пластичность, сдвиги в соединениях

**II группа** – состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация СК, исчерпывается ресурс их долговечности или нарушаются условия комфортности

Достижение предельных деформаций конструкций  
Достижение предельных уровней колебаний  
Образование трещин и т.д.

# О коэффициентах надежности

$$N \leq S$$

Действующая нагрузка

Материал

Условия работы

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке

$\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы

СП 20.13330.2016  
Нагрузки и воздействия

СП 16.13330.2017  
Стальные конструкции

СП 16.13330.2017  
Стальные конструкции

# Определение действующих нагрузок

**Нормативное (базовое) значение нагрузки** – базовое значение нагрузки в условиях нормальной эксплуатации

**Коэффициент надежности по нагрузке** – коэффициент, учитывающий в условиях нормальной эксплуатации сооружений возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную сторону от нормативных значений

**Расчетное значение нагрузки** – экстремальное значение нагрузки в течение срока эксплуатации объекта

$$F_p = F_n \cdot \gamma_f$$

## **Определение прочностных показателей материала**

**Нормативное значение прочности** – базовое значение прочностных показателей материала, которое гарантировано производителем

**Коэффициент надежности по материалу** – коэффициент, учитывающий в условиях нормальной эксплуатации сооружений возможное отклонение прочностных показателей в неблагоприятную сторону от нормативных значений

**Расчетное значение прочности** – экстремальное значение прочностных показателей в течение срока эксплуатации объекта

# Прочностные показатели стали

**Прочность стали зависит от марки и толщины проката**

Основные прочностные показатели стали (таблица 2 СП)

$R_{yn}$  – нормативное сопротивление растяжению, сжатию и изгибу по пределу текучести

$R_{un}$  – нормативное сопротивление растяжению, сжатию и изгибу по временному сопротивлению

$R_{sn} = 0,58R_{yn}$  – нормативное сопротивление сдвигу

$R_{pn}$  – нормативное сопротивление смятию торцевой поверхности

Расчетные значения прочностных показателей определяются

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m}$$

Коэффициент надежности по материалу для стали  
 $\gamma_m = 1,025 \dots 1,1$

# Учет условий работы

Коэффициенты условий работы для элементов приведены в таблице 1 СП

Таблица 1

Элементы конструкций	Коэффициенты условий работы $\gamma_c$
1 Балки сплошного сечения и сжатые элементы ферм перекрытий под залами театров, клубов, кинотеатров, под трибунами, под помещениями магазинов, книгохранилищ и архивов и т.п. при временной нагрузке, не превышающей вес перекрытий	0,90
2 Колонны общественных зданий при постоянной нагрузке, равной не менее 0,8 расчетной, и опор водонапорных башен	0,95
3 Колонны одноэтажных производственных зданий с мостовыми кранами	1,05
4 Сжатые основные элементы (кроме опорных) решетки составного таврового сечения из двух уголков в сварных фермах покрытий и перекрытий при расчете на устойчивость указанных элементов с гибкостью $\lambda > 60$	0,80
5 Растянутые элементы (затяжки, тяги, оттяжки, подвески) при расчете на прочность по неослабленному сечению	0,90
6 Элементы конструкций из стали с пределом текучести до 440 Н/мм <sup>2</sup> , несущие статическую нагрузку, при расчете на прочность по сечению, ослабленному отверстиями для болтов (кроме фрикционных соединений)	1,10
7 Сжатые элементы решетки пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков, прикрепляемые одной полкой (для неравнополочных уголков – большей полкой):	
а) непосредственно к поясам сварными швами либо двумя болтами и более, установленными вдоль уголка:	
раскосы по рисунку 15, а и распорки по рисунку 15, б, в, е	0,90
раскосы по рисунку 15, в, г, д, е	0,80
б) непосредственно к поясам одним болтом или через фасонку независимо от вида соединения	0,75
8 Сжатые элементы из одиночных уголков, прикрепляемых одной полкой (для неравнополочных уголков – меньшей полкой), за исключением элементов плоских ферм из одиночных уголков и элементов, указанных в позиции 7 настоящей таблицы, раскосов по рисунку 15, б, прикрепляемых непосредственно к поясам сварными швами либо двумя болтами и более, установленными вдоль уголка, и плоских ферм из одиночных уголков	0,75
9 Опорные плиты из стали с пределом текучести до 390 Н/мм <sup>2</sup> , несущие статическую нагрузку, толщиной, мм:	
а) до 40	1,20
б) » 40 до 60	1,15
в) » 60 » 80	1,10
<p><b>Примечания</b></p> <p>1 Коэффициенты <math>\gamma_c &lt; 1</math> при расчете совместно учитывать не следует.</p> <p>2 При расчете на прочность по сечению, ослабленному отверстиями для болтов, коэффициенты условий работы, приведенные в позициях 6 и 1; 6 и 2; 6 и 3, следует учитывать совместно.</p> <p>3 При расчете опорных плит коэффициенты, приведенные в позициях 9 и 2, 9 и 3, следует учитывать совместно.</p> <p>4 Коэффициенты для элементов, приведенных в позициях 1 и 2, следует учитывать также при расчете их соединений.</p> <p>5 В случаях, не оговоренных в настоящей таблице, в формулах следует принимать <math>\gamma_c = 1</math>.</p>	

# Предельное неравенство

$$N \leq S \quad N = \gamma_n \cdot \sum_{i=1}^m F_{ni} \cdot \gamma_{fi} \cdot \psi_i \cdot \alpha_i \leq \frac{A \cdot R_n \cdot \gamma_c}{\gamma_m} = S$$

$$\gamma = \frac{\gamma_f \cdot \gamma_m \cdot \gamma_n \cdot \psi_i}{\gamma_c}$$

Обобщенный (интегральный)  
коэффициент надежности метода  
предельных состояний

$$\gamma_n \cdot \sum_{i=1}^m F_{ni} \cdot \psi_i \cdot \delta_i \leq \Delta$$

Предельное неравенство II группы  
предельных состояний

# *Сортамент*



# Прокатная сталь

Листовая

Тонко/толсто  
листовая

Широкополосная

Просечно-вытяжная

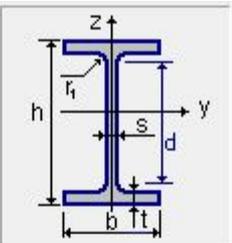
Профильная

Уголок, двутавр,  
швеллер и т.д.

Гнутые профили

***Сортамент*** – перечень прокатных профилей с указанием формы, геометрических характеристик, массы единицы длины, допусков и условий поставки

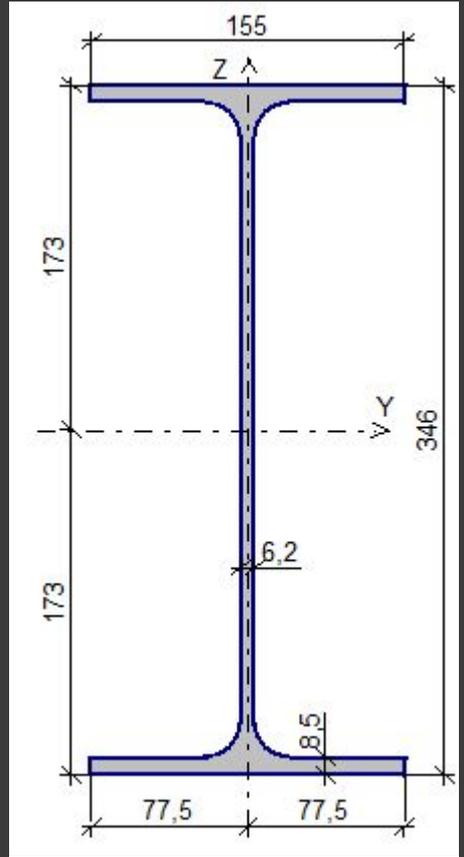
***Коэффициент градации*** – отношение площади сечения данного профиля  $A_n$  и площади ближайшего меньшего  $A_{n-1}$



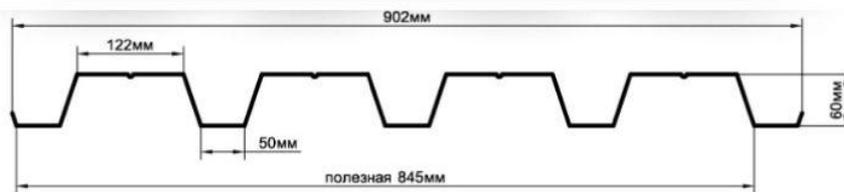
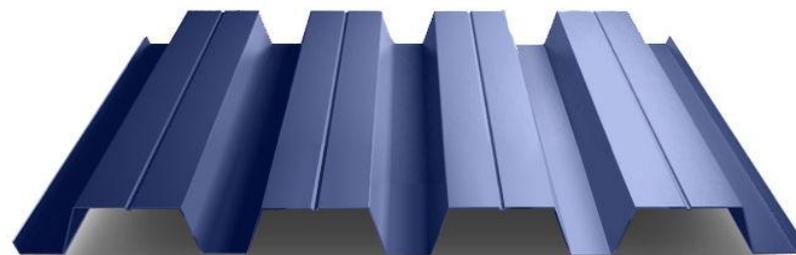
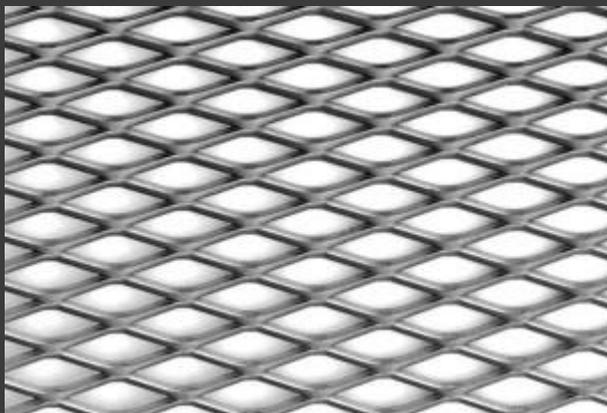
Сортировка

(Не сортирова

		h	b	s	t	r <sub>1</sub>	A	P	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>
		мм	мм	мм	мм	мм	см <sup>2</sup>	кг/м	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	мм	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	мм
1	10Б1	100,000	55,000	4,100	5,700	7,000	10,320	8,100	171,000	34,200	19,700	40,700	15,900	5,800	12,400
2	12Б1	117,600	64,000	3,800	5,100	7,000	11,030	8,700	257,000	43,800	24,900	48,300	22,400	7,000	14,200
3	12Б2	120,000	64,000	4,400	6,300	7,000	13,210	10,400	318,000	53,000	30,400	49,000	27,700	8,600	14,500
4	14Б1	137,400	73,000	3,800	5,600	7,000	13,390	10,500	435,000	63,300	35,800	57,000	36,400	10,000	16,500
5	14Б2	140,000	73,000	4,700	6,900	7,000	16,430	12,900	541,000	77,300	44,200	57,400	44,900	12,300	16,500
6	16Б1	157,000	82,000	4,000	5,900	9,000	16,180	12,700	689,000	87,800	49,500	65,300	54,400	13,300	18,300
7	16Б2	160,000	82,000	5,000	7,400	9,000	20,090	15,800	869,000	108,700	61,900	65,800	68,300	16,600	18,400
8	18Б1	177,000	91,000	4,300	6,500	9,000	19,580	15,400	1063,000	120,100	67,700	73,700	81,900	18,000	20,400
9	18Б2	180,000	91,000	5,300	8,000	9,000	23,950	18,800	1317,000	146,300	83,200	74,100	100,800	22,200	20,500
10	20Б1	200,000	100,000	5,600	8,500	12,000	28,490	22,400	1943,000	194,300	110,300	82,600	142,300	28,500	22,300
11	23Б1	230,000	110,000	5,600	9,000	12,000	32,910	25,800	2996,000	260,500	147,200	95,400	200,300	36,400	24,700
12	26Б1	258,000	120,000	5,800	8,500	12,000	35,620	28,000	4024,000	312,000	176,600	106,300	245,600	40,900	26,300
13	26Б2	261,000	120,000	6,000	10,000	12,000	39,700	31,200	4654,000	356,600	201,500	108,300	288,800	48,100	27,000
14	30Б1	296,000	140,000	5,800	8,500	15,000	41,920	32,900	6328,000	427,000	240,000	122,900	390,000	55,700	30,500
15	30Б2	299,000	140,000	6,000	10,000	15,000	46,670	36,600	7293,000	487,800	273,800	125,000	458,600	65,500	31,300
16	35Б1	346,000	155,000	6,200	8,500	18,000	49,530	38,900	10060,000	581,700	328,600	142,500	529,600	68,300	32,700
17	35Б2	349,000	155,000	6,500	10,000	18,000	55,170	43,300	11550,001	662,200	373,000	144,700	622,900	80,400	33,600
18	40Б1	392,000	165,000	7,000	9,500	21,000	61,250	48,100	15750,001	803,600	456,000	160,300	714,900	86,700	34,200
19	40Б2	396,000	165,000	7,500	11,500	21,000	69,720	54,700	18530,000	935,700	529,700	163,000	865,000	104,800	35,200
20	45Б1	443,000	180,000	7,800	11,000	21,000	76,230	59,800	24940,002	1125,800	639,500	180,900	1073,700	119,300	37,500
21	45Б2	447,000	180,000	8,400	13,000	21,000	85,960	67,500	28870,002	1291,900	732,900	183,200	1269,000	141,000	38,400
22	50Б1	492,000	200,000	8,800	12,000	21,000	92,980	73,000	37160,000	1511,000	860,400	199,900	1606,000	160,600	41,600
23	50Б2	496,000	200,000	9,200	14,000	21,000	102,800	80,700	42390,004	1709,000	970,200	203,000	1873,000	187,300	42,700
24	55Б1	543,000	220,000	9,500	13,500	24,000	113,370	89,000	55680,004	2051,000	1165,000	221,600	2404,000	218,600	46,100
25	55Б2	547,000	220,000	10,000	15,500	24,000	124,750	97,900	62790,008	2296,000	1302,000	224,300	2760,000	250,900	47,000
26	60Б1	593,000	230,000	10,500	15,500	24,000	135,260	106,200	78760,000	2656,000	1512,000	241,300	3154,000	274,300	48,300
27	60Б2	597,000	230,000	11,000	17,500	24,000	147,300	115,600	87640,008	2936,000	1669,000	243,900	3561,000	309,600	49,200
28	70Б1	691,000	260,000	12,000	15,500	24,000	164,700	129,300	125930,016	3645,000	2095,000	276,500	4556,000	350,500	52,600



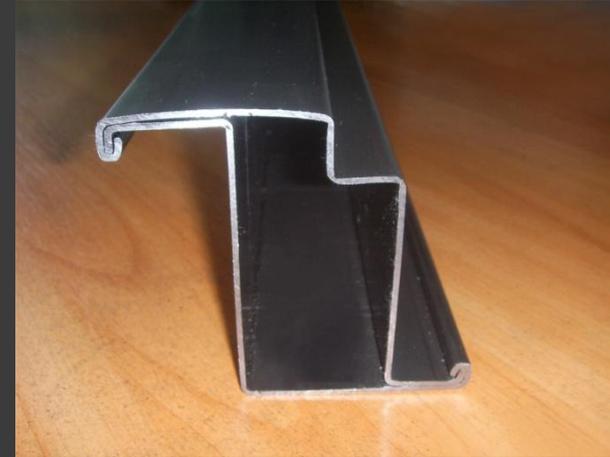
# Листовая сталь



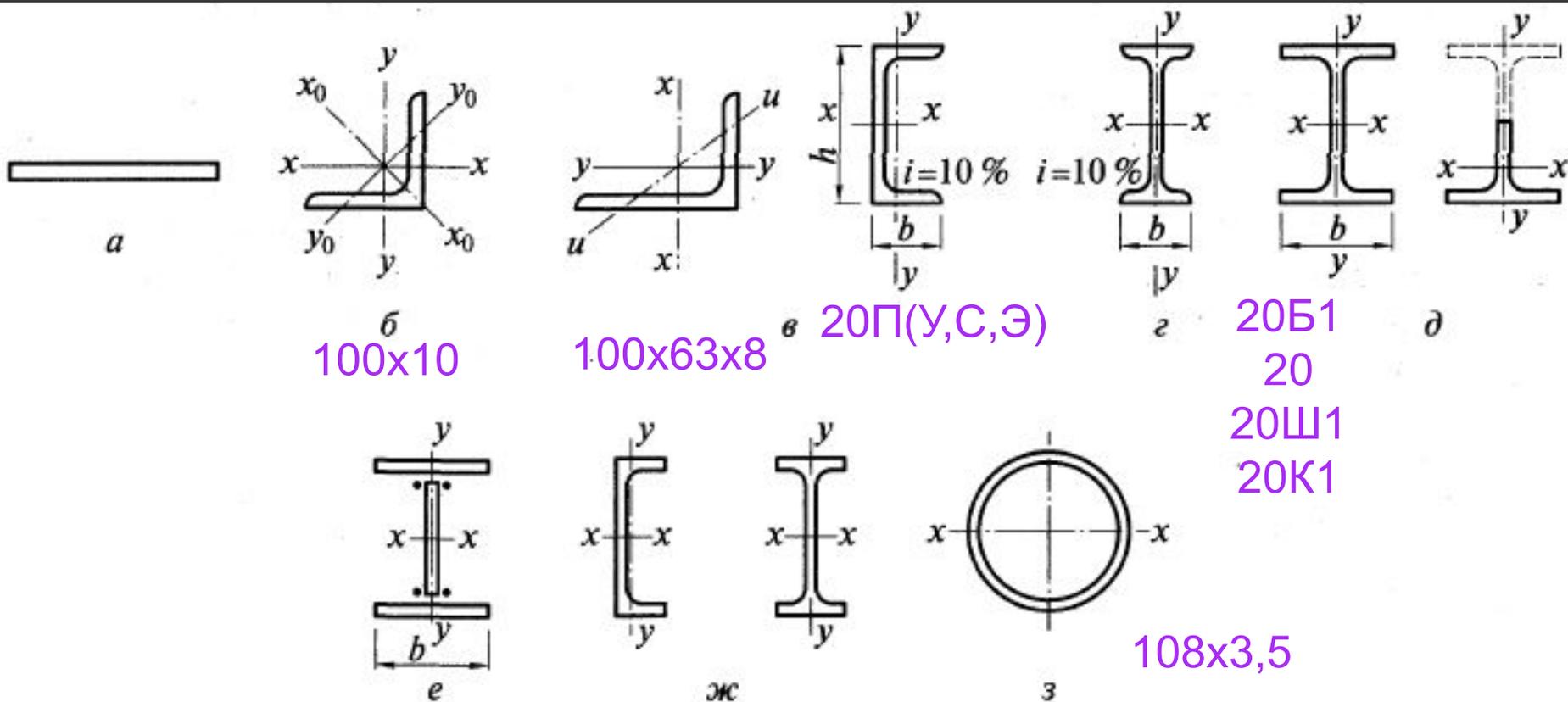
# Профильная сталь



# Гнутые профили



# Сортамент - обозначение



# Двутавр – самый распространенный тип профиля в строительстве



**ДВУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ  
С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ГРЯНЯМИ ПОЛОК**

**Технические условия**

Издание официальное

Москва  
Стандартинформ  
2017

ГОСТ Р 57837-2017 новый сортамент двутавров с параллельными гранями полок

**СТО АСЧМ  
20-93**

**ГОСТ Р  
57837-2017**

$K_{\text{град}} = 1,2$

$K_{\text{град}} = 1,15$

**Значительно увеличилась  
номенклатура**

**30 двутавров типа  
Б (10Б1-70Б2)**

**50 двутавров типа  
Б (10Б1-70Б4)**

# Сортамент

+

Оптимальное соотношение  
геометрических параметров

Индустриальность  
изготовления

-

Дискретность

Ограниченность