

# ОСНОВЫ РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Материалы для  
металлических конструкций

СТАЛЬ – ЭТО СПЛАВ ЖЕЛЕЗА С  
УГЛЕРОДОМ (ДО 2%) И  
НЕКОТОРЫМИ ПРИМЕСЯМИ.



## классификация

1) По химическому составу различают стали углеродистые и легированные

2) по назначению -конструкционные,  
инструментальные, стали с особыми  
физическими и химическими свойствами.

- малоуглеродистые, т. е. содержащими углерода менее 0,25%;
- среднеуглеродистые, содержание углерода составляет 0,25-0,60%
- высокоуглеродистые, в которых концентрация углерода превышает 0,60%

- низколегированные содержание легирующих элементов до 2,5%
- среднелегированные, в их состав входят от 2,5 до 10% легирующих элементов;
- высоколегированные, которые содержат свыше 10% легирующих элементов.

По назначению стали бывают:

- **Конструкционные**, предназначенные для изготовления строительных и машиностроительных изделий.
- **Инструментальные**, из которых изготавливают режущий, мерительный, штамповый и прочие инструменты.
- **С особыми физическими свойствами**, например, с определенными магнитными характеристиками или малым коэффициентом линейного расширения.
- **С особыми химическими свойствами**, например, нержавеющие, жаростойкие стали.

## Качество.

- В зависимости от содержания вредных примесей: серы и фосфора-стали подразделяют на:
- **Стали обыкновенного качества**, содержание до 0.06% серы и до 0,07% фосфора.
- **Качественные** - до 0,035% серы и фосфора каждого отдельно.
- **Высококачественные** - до 0.025% серы и фосфора.
- **Особовысококачественные**, до 0,025% фосфора и до 0,015% серы.

## Степень раскисления.

По степени удаления кислорода из стали, т. е. По степени её раскисления, существуют:

- **спокойные стали**, т. е., полностью раскисленные; такие стали обозначаются буквами “сп” в конце марки
- **кипящие стали** - слабо раскисленные; маркируются буквами "кп";
- **полуспокойные стали**, занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами "пс".

Сталь обыкновенного качества подразделяется еще и по поставкам на 3 группы:

- сталь **группы А** поставляется потребителям по механическим свойствам (такая сталь может иметь повышенное содержание серы или фосфора);
- сталь **группы Б** - по химическому составу;
- сталь **группы В** - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.



- **Стали обыкновенного качества** обозначают буквами "Ст" и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств. Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше её номер. Буква "Г" после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали. Перед маркой указывают группу стали, причем группа "А" в обозначении марки стали не ставится. Для указания категории стали к обозначению марки добавляют номер в конце соответствующий категории, первую категорию обычно не указывают.

- Ст1кп2 - углеродистая сталь обыкновенного качества, кипящая, № марки 1, второй категории, поставляется потребителям по механическим свойствам (группа А);

легирующие элементы, входящие в состав стали, обозначают русскими буквами:

А – азот

К – кобальт

Т – титан

Б – ниобий

М – молибден

Ф – ванадий

В – вольфрам

Н – никель

Х – хром

Г – марганец

П – фосфор

Ц – цирконий

Д – медь

Р – бор

Ю – алюминий

Е – селен

С – кремний

Ч –

редкоземельные  
металлы

- 14Г2 – низко легированная качественная сталь, спокойная, содержит приблизительно 14% углерода и до 2,0% марганца.

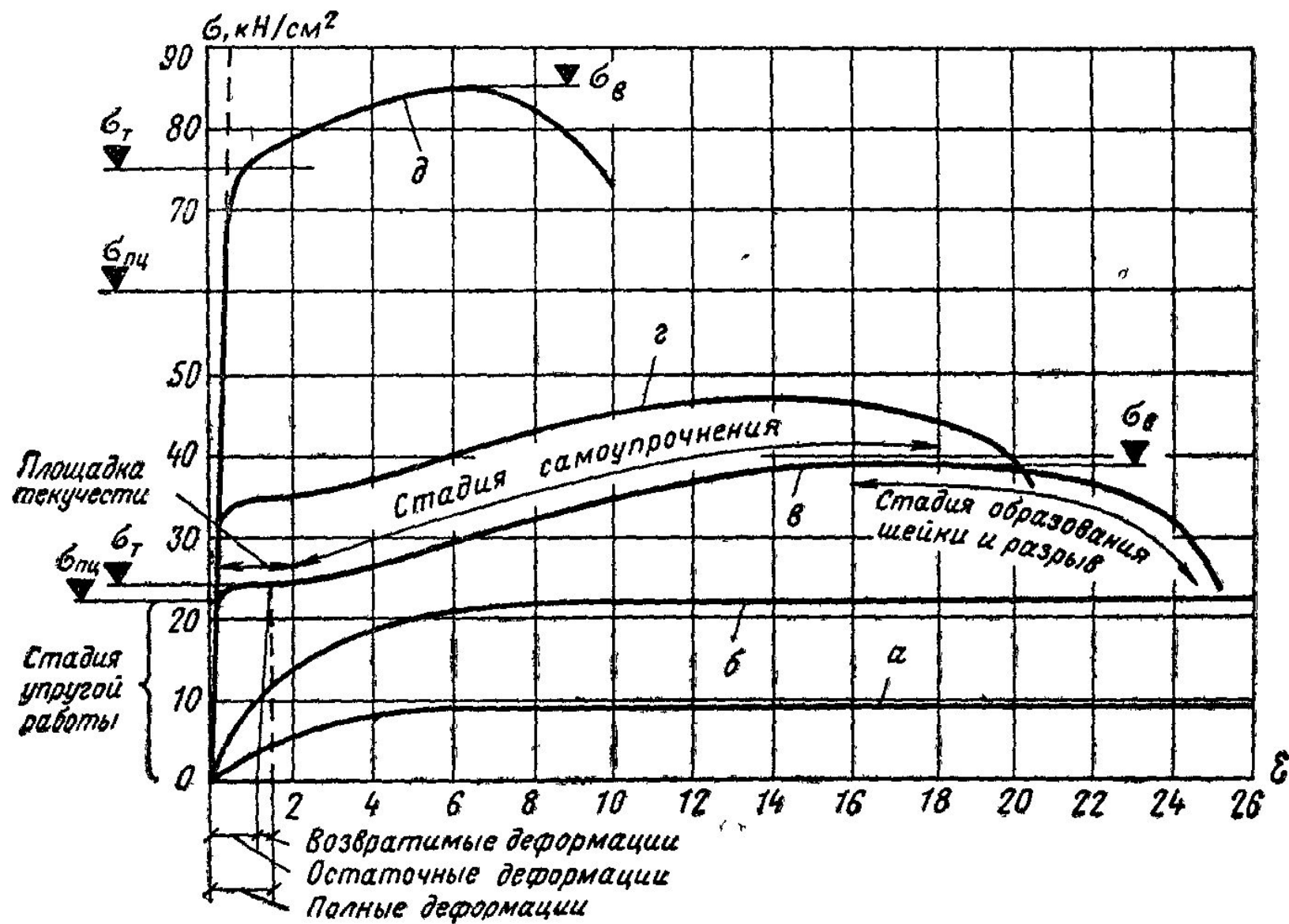


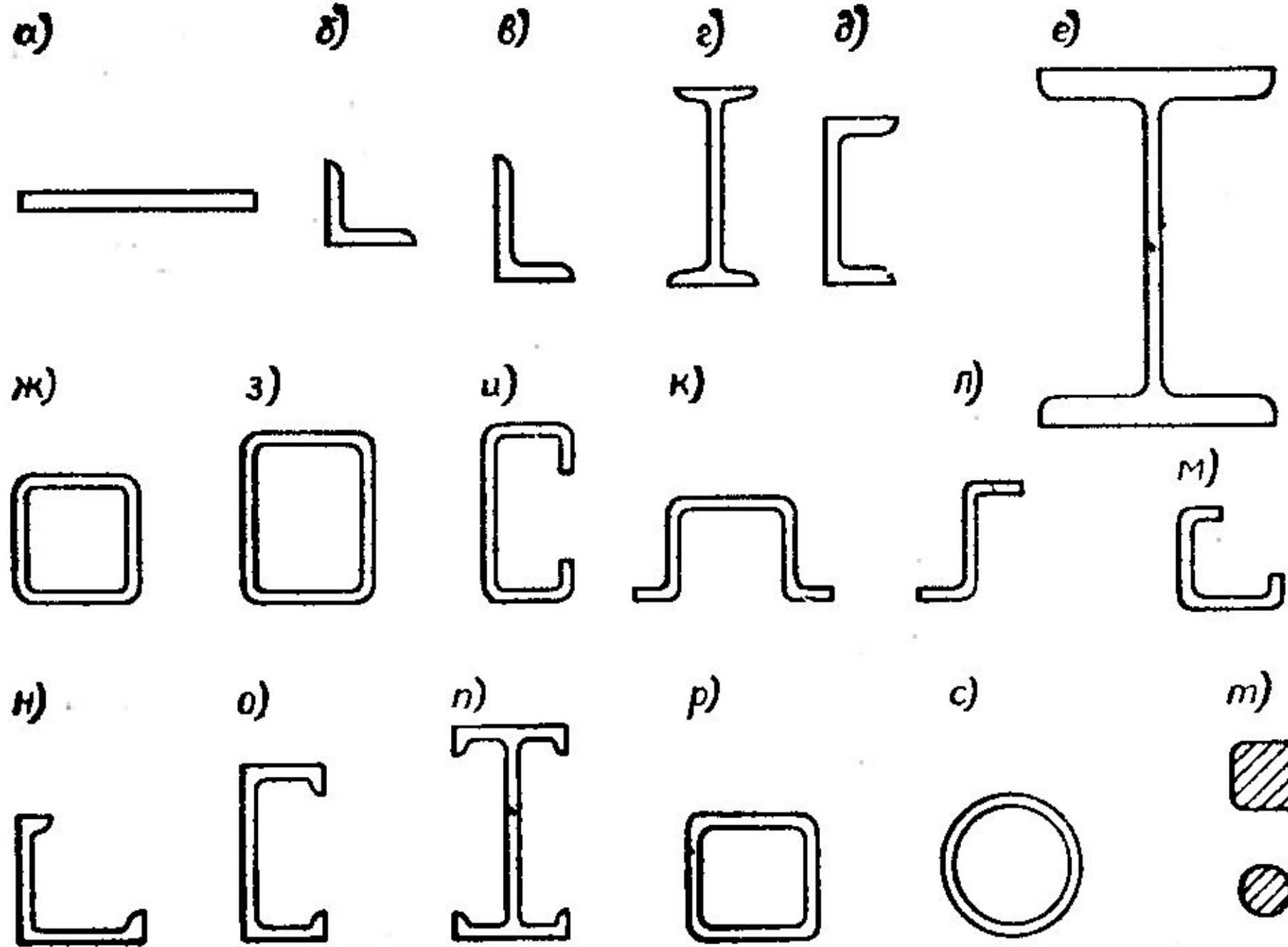
Рис II 15 Диаграмма растяжения стали

$а$  — монокристалл железа,  $б$  — поликристалл железа  $в$  — сталь класса С 38/23, сталь марки Ст3,  $г$  — сталь класса С 46/34,  $д$  — сталь класса С 85/75,  $е$  — разорванный образец

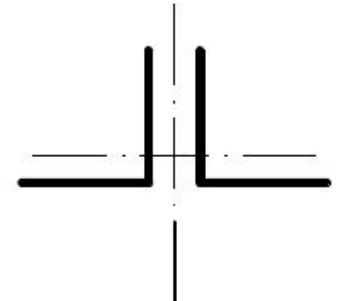
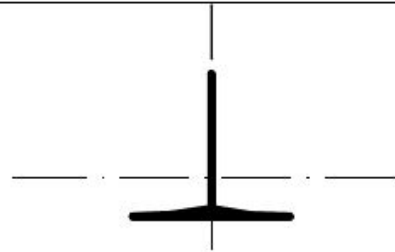
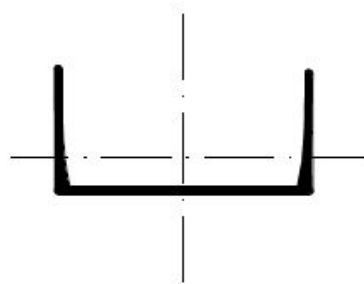
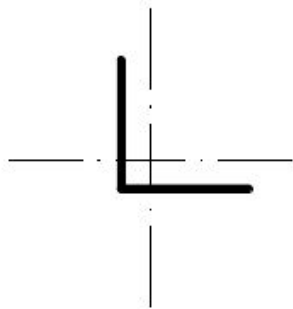
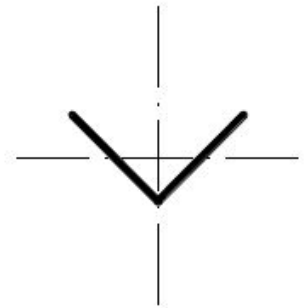
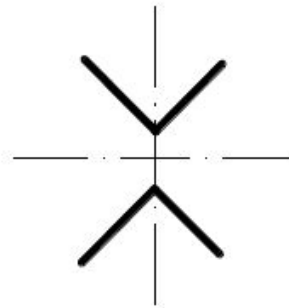
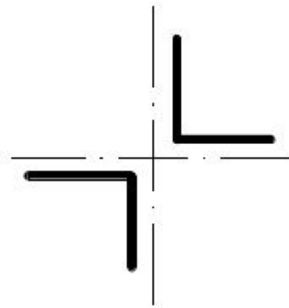
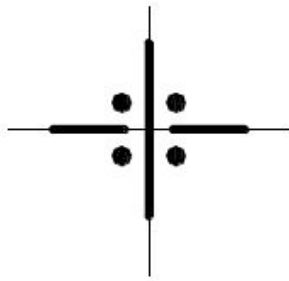
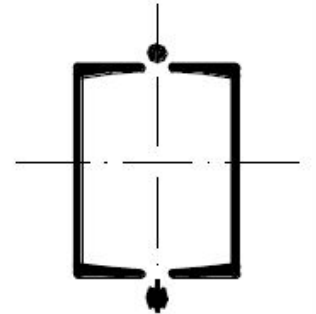
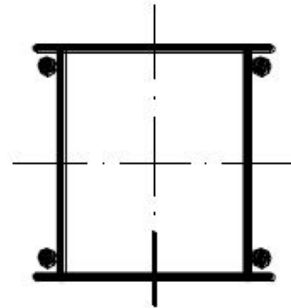
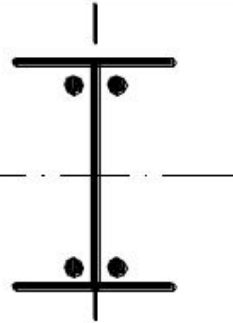
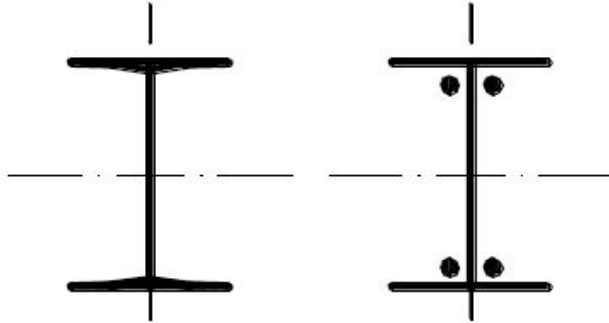
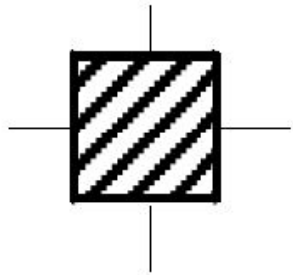
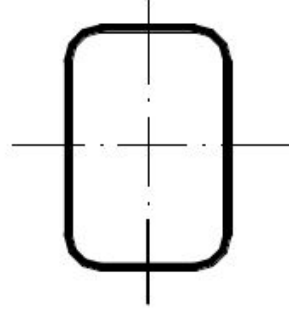
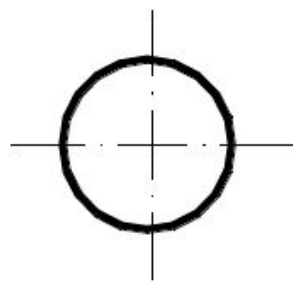
Сталь	Толщина проката, мм	Нормативное сопротивление проката, МПа				Расчетное сопротивление проката, МПа			
		листового широкополосного универсального		фасонного		листового широкополосного универсального		фасонного	
		$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
С235	2-20	235	360	235	360	230	350	230	350
	20-40	225	360	225	360	220	350	220	350
	40-100	215	360	-	-	210	350	-	-
	свыше 100	195	360	-	-	190	350	-	-
С245	2-20	245	370	245	370	240	360	240	360
	20-30	-	-	235	370	-	-	230	360
С275	2-10	275	380	275	390	270	370	270	380
	10-20	265	370	275	380	260	360	270	370
С345	2-10	345	490	345	490	335	480	335	480
	10-20	325	470	325	470	315	460	315	460
	20-40	305	460	305	460	300	450	300	450
	40-60	285	450	-	-	280	440	-	-
	60-80	275	440	-	-	270	430	-	-
	80-100	265	430	-	-	260	420	-	-

**Т а б л и ц а В.5 — Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального и фасонного проката**

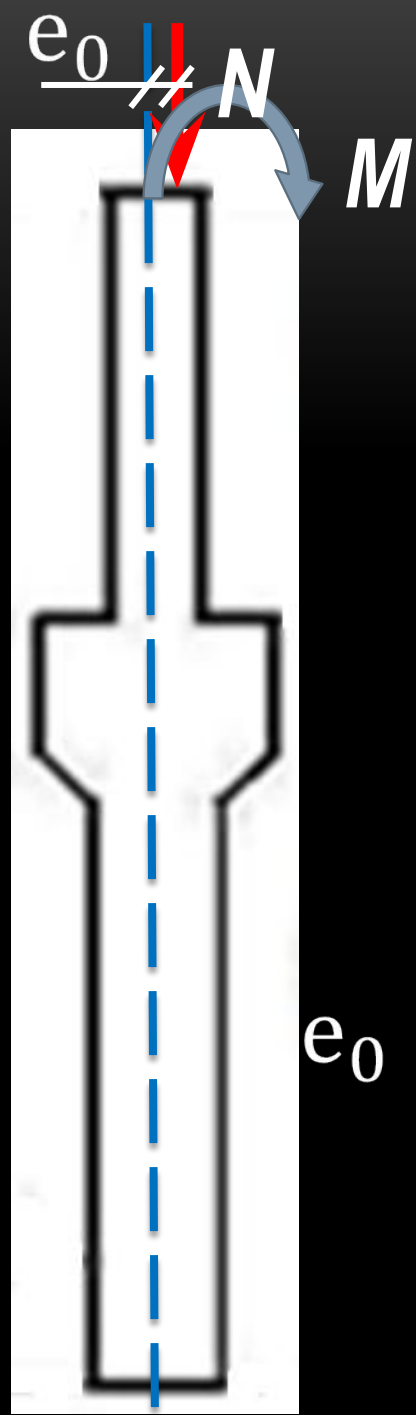
Сталь по ГОСТ 27772	Толщина проката*, мм	Нормативное сопротивление** проката, Н/мм <sup>2</sup>		Расчетное сопротивление*** проката, Н/мм <sup>2</sup>	
		$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$
C235	От 2 до 8	235	360	230 / 225	350 / 345
C245	» 2 » 20	245	370	240 / 235	360 / 350
	Св.20 » 30	235	370	230 / 225	360 / 350
C255	От.2 » 20	245	370	240 / 235	360 / 350
	Св.20 » 40	235	370	230 / 225	360 / 350
C285	От 2 » 10	275	390	270 / 260	380 / 370
	Св.10 » 20	265	380	260 / 250	370 / 360
C345	От 2 » 20	325	470	320 / 310	460 / 450
	Св.20 » 40	305	460	300 / 290	450 / 440
	» 40 » 80	285	450	280 / 270	440 / 430
	» 80 » 100	265	430	260 / 250	420 / 410
C345К	От 4 » 10	345	470	335 / 330	460 / 450
C375	» 2 » 20	355	490	345 / 340	480 / 465
	Св.20 » 40	335	480	325 / 320	470 / 455
C390	От 4 » 50	390	540	380 / 370	525 / 515
C440	» 4 » 30	440	590	430 / 420	575 / 560
	Св.30 » 50	410	570	400 / 390	555 / 540
C590 C590К	От 10 » 40	590	685	575 / 560	670 / 650



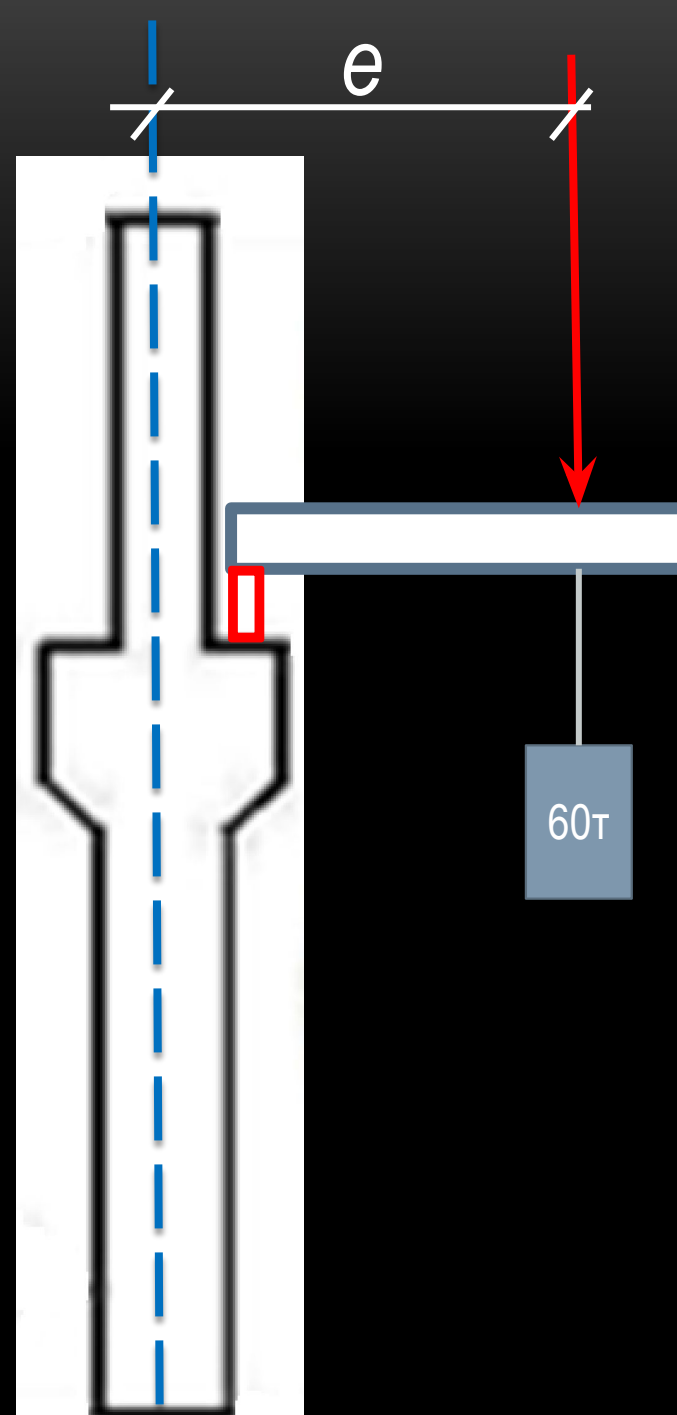


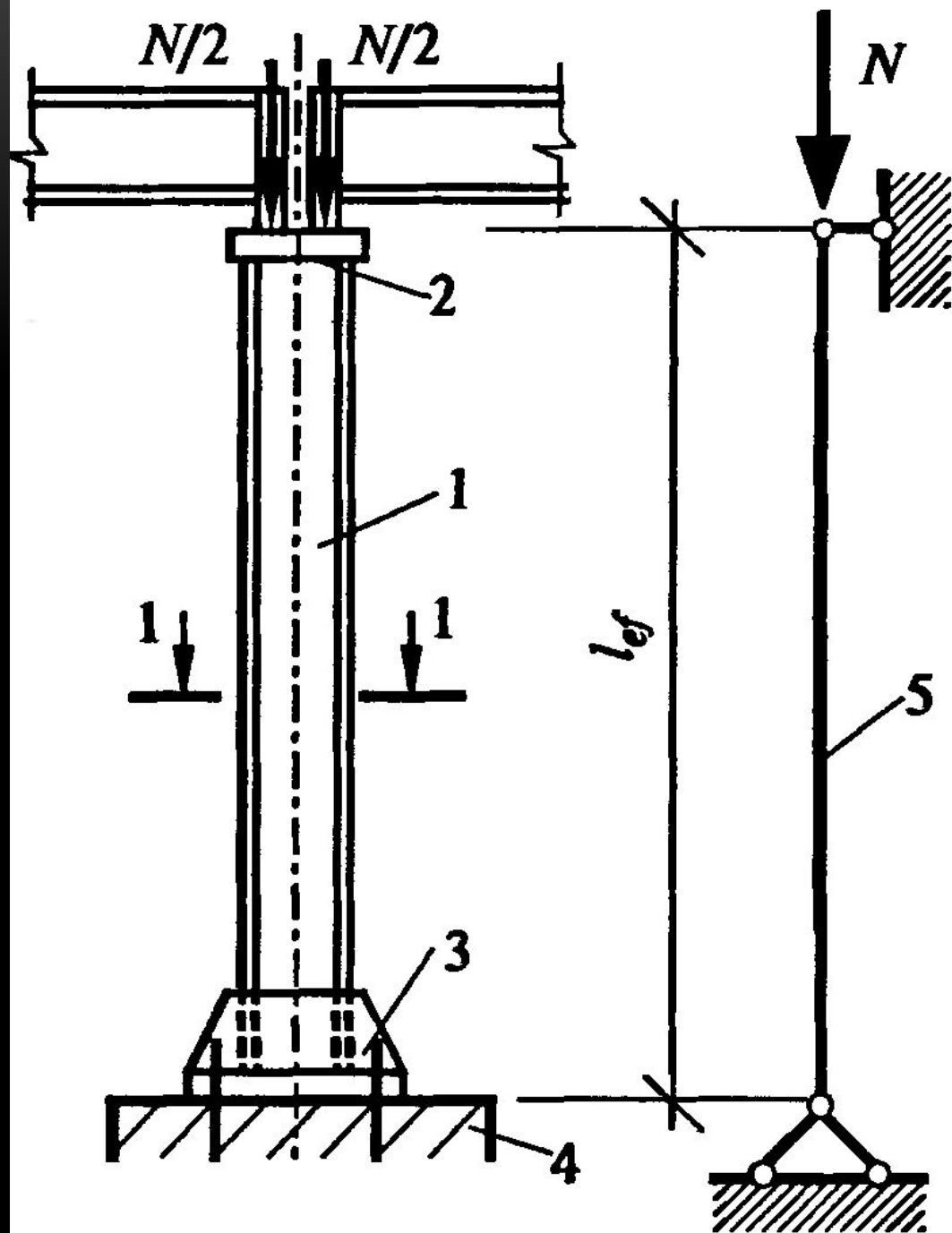


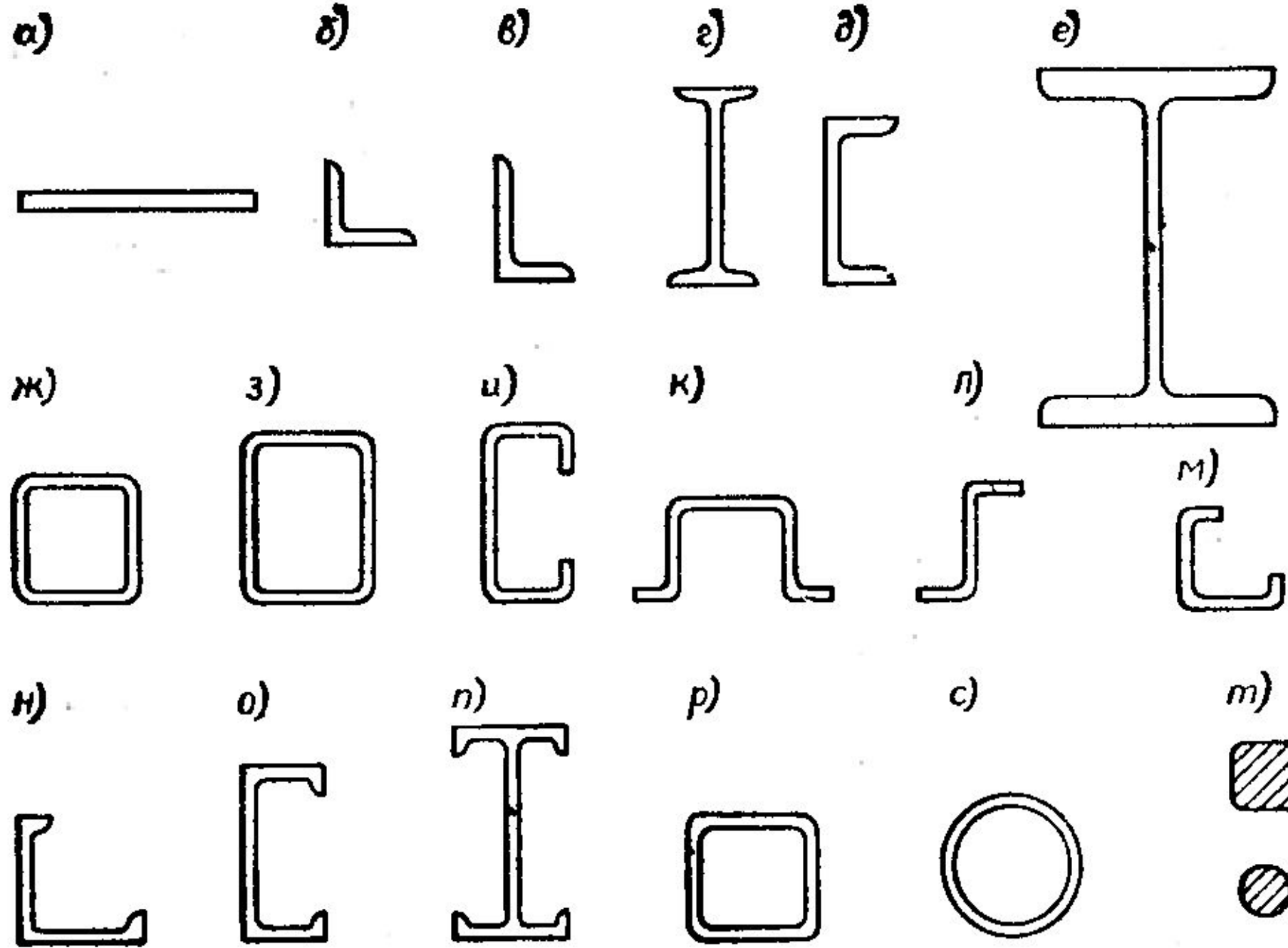
*РАБОТА КОЛОНН ПОД  
НАГРУЗКОЙ*



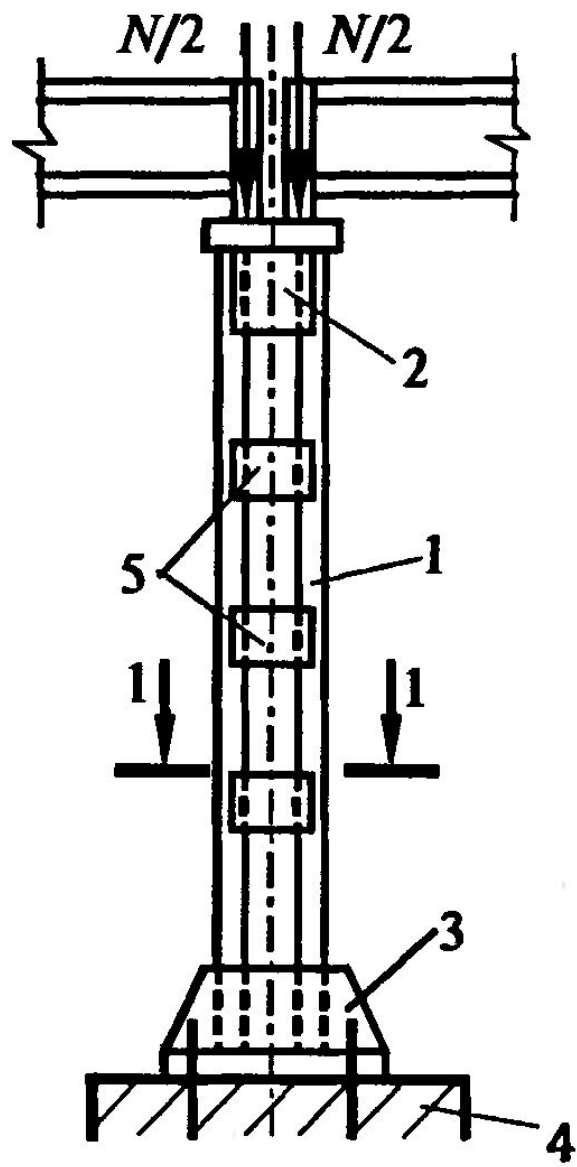
$$e_0 = \frac{M}{N}$$



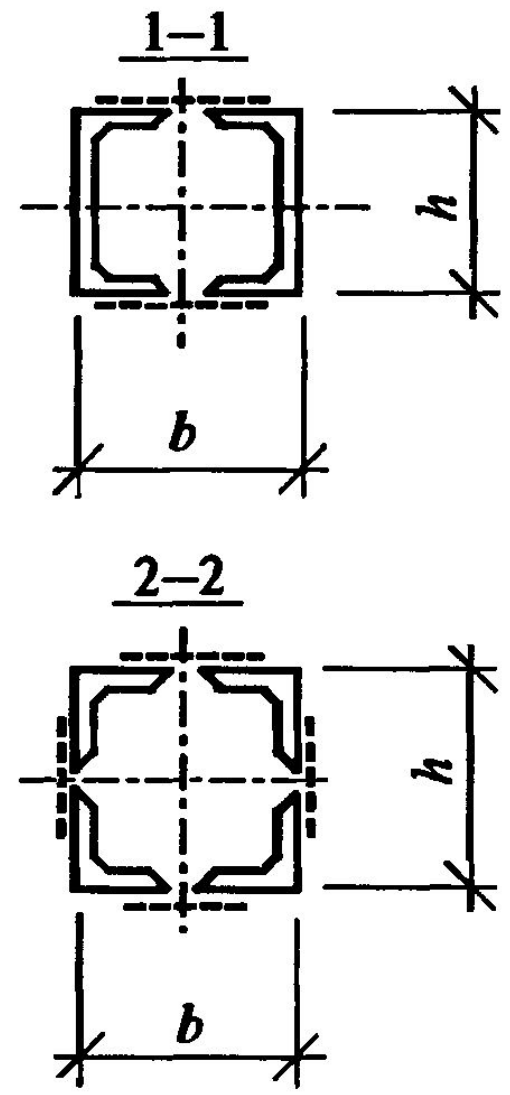
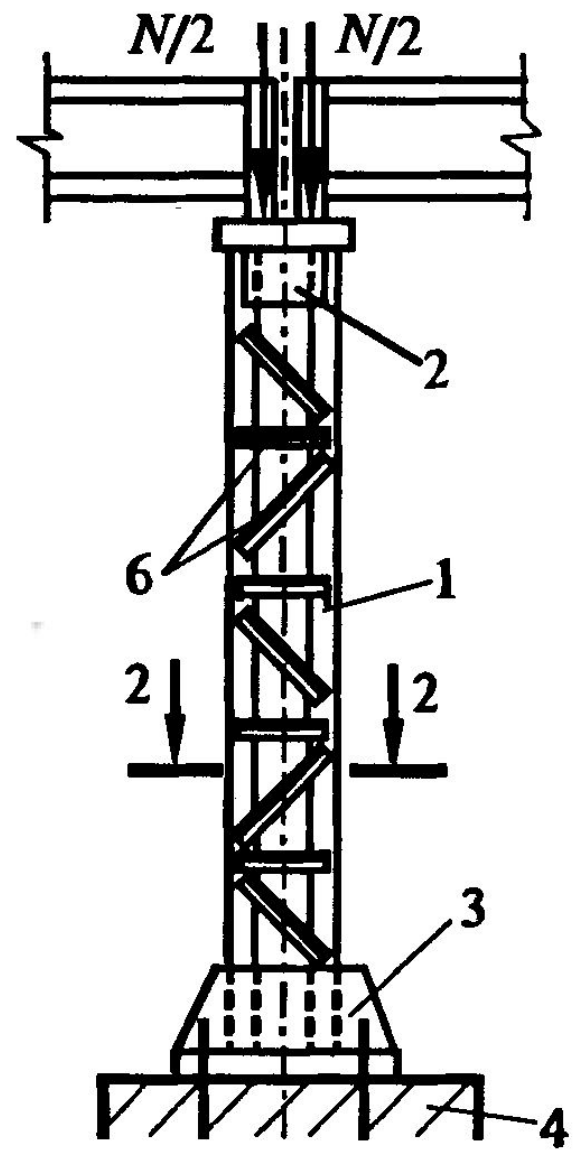


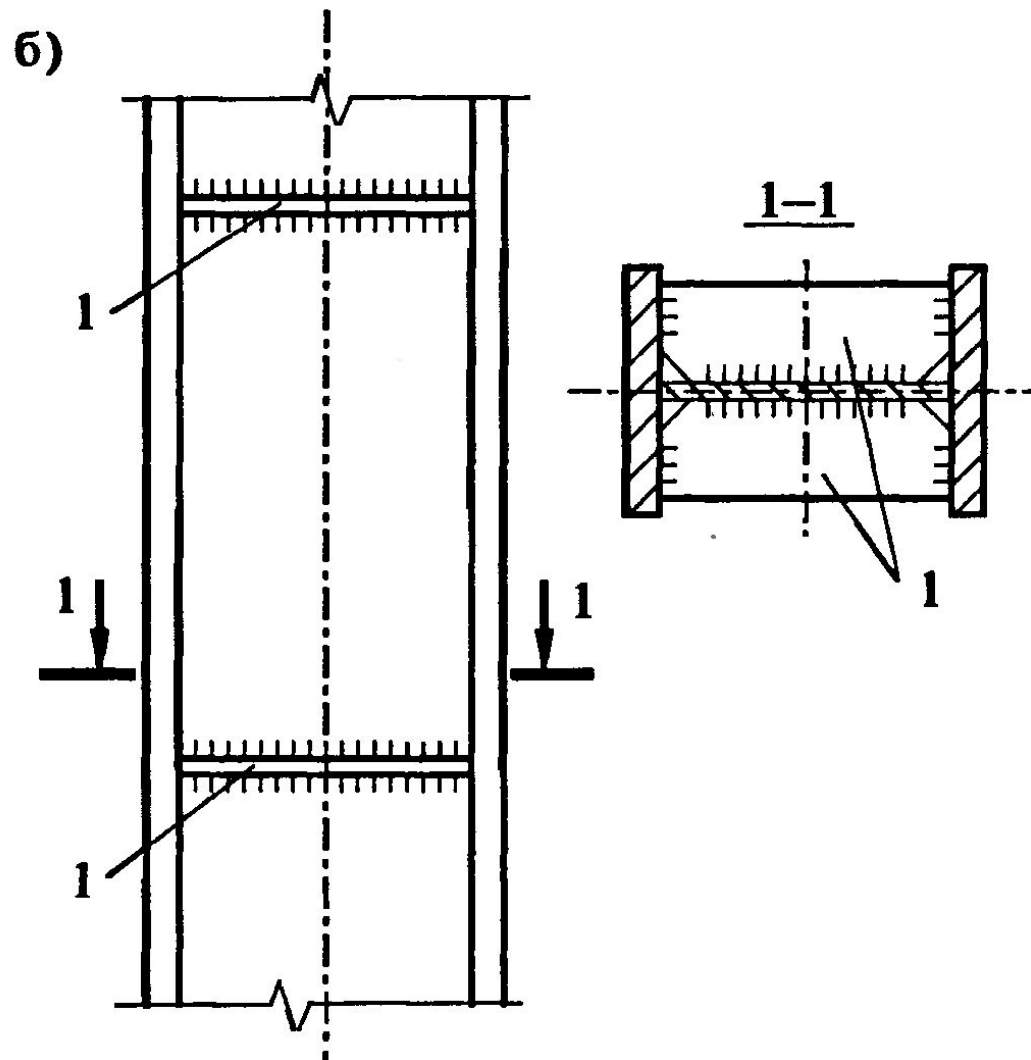
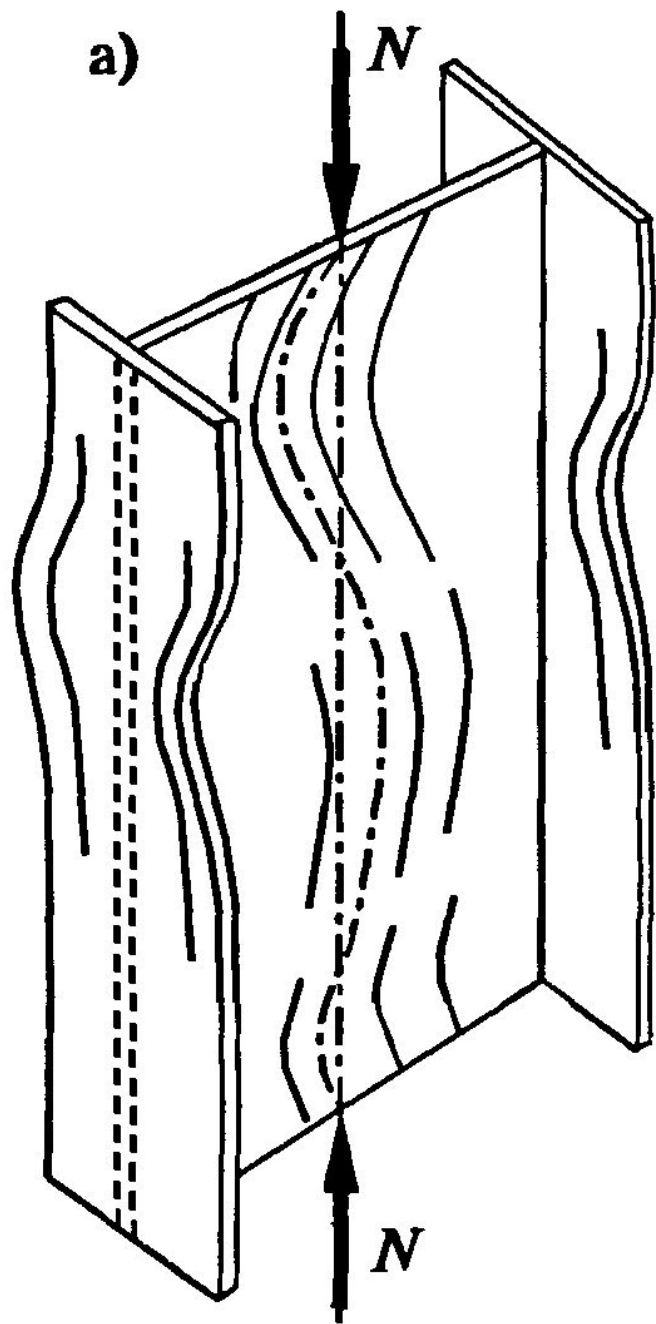


a)



b)





Условие прочности для центрально-сжатых  
элементов

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

Условие устойчивости для внецентренно-сжатых  
элементов

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



Определяем требуемую площадь сечения под нагрузку  $N$ , по формуле:

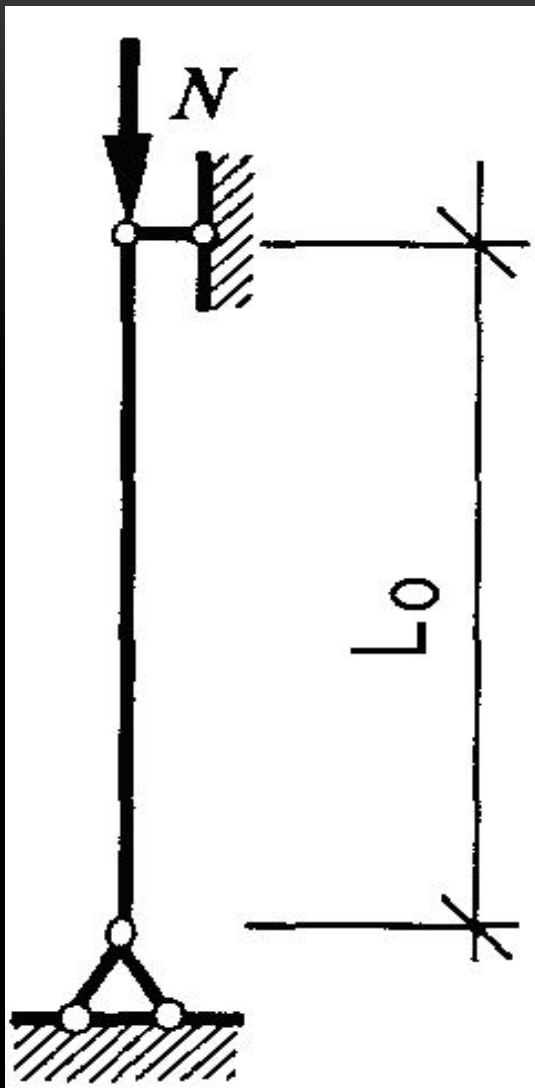
$$A_{tr} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y}$$

где:  $\varphi$ -коэффициент продольного изгиба (по СНиП II-23-81\* Стальные конструкции);

$R_y$ -расчетное сопротивление стали по пределу текучести (по СНиП II-23-81\* Стальные конструкции),  $\text{кН/см}^2$

Гибкость $\lambda$	Коэффициенты $\varphi$ для элементов из стали с расчетным сопротивлением $R_y$ , МПа					
	200	240	280	320	360	400
10	988	987	985	984	983	982
20	967	962	959	955	952	949
30	939	931	924	917	911	905
40	906	894	883	873	863	854
50	869	852	836	822	809	796
60	827	805	785	766	749	721
70	782	754	724	687	654	623
80	734	686	641	602	566	532
90	665	612	565	522	483	447
100	599	542	493	448	408	369
110	537	478	427	381	338	306
120	479	419	366	321	287	260
130	425	364	313	276	247	223
140	376	315	272	240	215	195
150	328	276	239	211	189	171
160	290	244	212	187	167	152
170	259	218	189	167	150	136
180	233	196	170	150	135	123
190	210	177	154	136	122	111
200	191	161	140	124	111	101
210	174	147	128	113	102	093
220	160	135	118	104	094	086

Сталь	Толщина проката, мм	Нормативное сопротивление проката, МПа				Расчетное сопротивление проката, МПа			
		листового широкополосного универсального		фасонного		листового широкополосного универсального		фасонного	
		$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
С235	2-20	235	360	235	360	230	350	230	350
	20-40	225	360	225	360	220	350	220	350
	40-100	215	360	-	-	210	350	-	-
	свыше 100	195	360	-	-	190	350	-	-
С245	2-20	245	370	245	370	240	360	240	360
	20-30	-	-	235	370	-	-	230	360
С275	2-10	275	380	275	390	270	370	270	380
	10-20	265	370	275	380	260	360	270	370
С345	2-10	345	490	345	490	335	480	335	480
	10-20	325	470	325	470	315	460	315	460
	20-40	305	460	305	460	300	450	300	450
	40-60	285	450	-	-	280	440	-	-
	60-80	275	440	-	-	270	430	-	-
	80-100	265	430	-	-	260	420	-	-



$$l_0 = \mu \cdot l$$

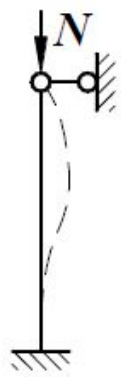
где:  $\mu$  - коэффициент,  
учитывающий тип закрепления  
колонны.

рис.1 Расчетная схема

Схема  
закрепления  
колонны  
(стойки) и  
вид  
нагрузки



1,0



0,7



0,5



2,0



1,0



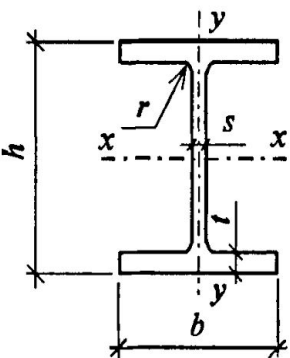
2,0

$\mu$

Определяем значение требуемого радиуса инерции,  
по формуле:

$$i_{mp} = \frac{l_0}{\lambda},$$

• По найденным значениям выбираем профиль в сортаменте.



Обозначения:

$h$  — высота балки;  
 $b$  — ширина балки;  
 $s$  — толщина стенки;  
 $t$  — средняя толщина полки;

$I$  — момент инерции;  
 $W$  — момент сопротивления;  
 $S$  — статический момент полусечения;  
 $i$  — радиус инерции.

Номер профиля	Сталь по ГОСТ 27772-88	Расчетное сопротивление $R_{y'}$ МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$h$	$b$	$s$	$t$	$r$	$A, \text{см}^2$	Справочные величины для осей							$G, \text{кг/м}$	Номер профиля
									$x-x$			$y-y$					
									$I_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$i_x, \text{см}$	$S_x, \text{см}^3$	$I_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$i_y, \text{см}$		
<b>Нормальные двутавры Б</b>																	
23Б1	C245,	240 (2450)	230	110	5,6	9	12	32,91	2996	260,5	9,54	147,2	200,3	36,4	2,47	25,8	23Б1
26Б1	C255,	250 (2550)	258	120	5,8	8,5	12	35,62	4024	312,0	10,63	176,6	245,6	40,9	2,63	28,0	26Б1
30Б1	C285,	280 (2850)	296	140	5,8	8,5	15	41,92	6328	427,0	12,29	240,0	390,0	55,7	3,05	32,9	30Б1
35Б1	C345-3, C345-4, C375-3	335 (3400) 335 (3400) 365 (3700)	346	155	6,2	8,5	18	49,53	10060	581,0	14,25	328,6	529,6	68,3	3,27	38,9	35Б1
35Б2	C245, C255, C285, C345-1, C345-3, C345-4, C375-3	240 (2450) 250 (2550) 280 (2850) 335 (3400) 335 (3400) 335 (3400) 365 (3700)	349	155	6,5	10,0	18	55,17	11550	662,2	14,47	373,0	622,9	80,4	3,36	43,3	35Б2

- После выбора необходимо проверить профиль

$$\lambda_x = \frac{l_0}{i_x}$$

$$\lambda_y = \frac{l_0}{i_y}$$

Для дальнейшего расчета принимаем наибольшее значение  $\lambda_{x,y}$ , определяем  $\varphi$  коэффициент продольного изгиба по СНиП II-23-81\* Стальные конструкции (стр.80, табл.72).



- Проверяем напряжение создаваемое в стержне колонны от нагрузки, по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot F} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

Если условие выполняется, следовательно, сечение удовлетворяет расчету по устойчивости.

Таблица 7

Тип сечения	
Обозначение	Форма
<i>a</i>	<p>Two types of cross-sections: a circle and a rounded rectangle, both with horizontal and vertical centerlines.</p>
<i>b</i>	<p>Five types of cross-sections: a square with diagonal hatching, an I-beam, a T-beam with four holes, a square with four holes, and a rectangular section with four holes.</p>
	<p>Four types of cross-sections: a cross with four holes, an L-shape, a V-shape, and a downward-pointing V-shape.</p>
<i>c</i>	<p>Four types of cross-sections: an L-shape, a U-shape, a T-beam, and a double-L shape.</p>

# Коэффициенты для расчета на устойчивость центрально- и внецентренно-сжатых элементов

Т а б л и ц а Д.1 — Коэффициенты устойчивости при центральном сжатии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты $\varphi$ для типа сечения			Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты $\varphi$ для типа сечения		
	$a$	$b$	$c$		$a$	$b$	$c$
0,4	999	998	992	5,4	261		255
0,6	994	986	950	5,6	242		240
0,8	981	967	929	5,8	226		
1,0	968	948	901	6,0	211		
1,2	954	927	878	6,2	198		
1,4	938	905	842	6,4	186		
1,6	920	881	811	6,6	174		
1,8	900	855	778	6,8	164		
2,0	877	826	744	7,0	155		
2,2	851	794	709	7,2	147		
2,4	820	760	672	7,4	139		
2,6	785	722	635	7,6	132		
2,8	747	683	598	7,8	125		
3,0	704	643	562	8,0	119		
3,2	660	602	526	8,5	105		
3,4	615	562	492	9,0	094		
3,6	572	524	460	9,5	084		
3,8	530	487	430	10,0	076		
4,0	475	453	401	10,5	069		
4,2	431	421	375	11,0	063		
4,4	393	392	351	11,5	057		
4,6	359	359	328	12,0	053		
4,8	330	330	308	12,5	049		
5,0	304	304	289	13,0	045		
5,2	281	281	271	14,0	039		

П р и м е ч а н и е — Значения коэффициентов  $\varphi$  в таблице увеличены в 1000 раз.