

## **Содержание контрольных работ**

### **КР № 1. Осевое растяжение и сжатие стержня.**

Задача № 1.1. Определение усилий, напряжений и деформаций в стержне при растяжении и сжатии.

Задача № 1.2. Подбор сечения статически определимого стержня при растяжении-сжатии.

Задача № 1.3. Расчет статически неопределимого стержня при растяжении и сжатии.

### **КР № 2. Плоское напряженное состояние. Кручение.**

Задача № 2.1. Исследование плоского напряженного состояния.

Задача № 2.2. Подбор круглого сечения стержня (вала) при кручении.

### **КР № 3. Плоский изгиб прямолинейного стержня.**

Задача № 3.1. Подбор сечения стальной двутавровой балки при изгибе из условия прочности.

## **Порядок получения индивидуального задания**

Исходные данные для выполнения каждой работы студент выписывает из приведённых в каждом задании таблиц и схем в соответствии со своим шифром. Шифром являются три последних цифры номера зачётной книжки или студенческого билета. Например, номер зачётной книжки 18549: первая цифра шифра – 5, вторая – 4, третья – 9.

## **Общие требования к оформлению контрольных работ**

Контрольная работа выполняется на стандартных листах писчей бумаги (формат А-4). Заполняется только одна сторона листа (см. приложение 2, стр. 36).

На титульном листе указываются номер и название работы, фамилия, имя и отчество студента, номер группы и специальность, индивидуальный шифр. Работа должна быть сброшюрована.

Расчётная схема изображается в масштабе длин. На ней указываются все необходимые данные в численном виде (размеры, нагрузки и др.), которые выписываются из таблиц. Все расчёты приводятся в краткой форме.

***Небрежно выполненные и выполненные не по шифру работы к проверке не принимаются.***

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

### Плоский изгиб прямолинейного стержня

#### Задача № 3.1. Подбор сечения стальной двутавровой балки при изгибе из условия прочности

**Задание:** Определить усилия в изгибаемой балке. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Подобрать сечение стальной двутавровой балки из условия прочности по нормальным напряжениям.

Проверить прочность по касательным и эквивалентным напряжениям. Принять значения: расчётного сопротивления материала на растяжение и сжатие  $R = 240$  МПа, расчётного сопротивления материала на сдвиг  $R = 130$  МПа, коэффициента условий работы  $\gamma_c = 1$ , допускаемого прогиба  $[f] = l/400$ ,  $l$  – пролет между опорами,  $d = 1$  м.

Исходные данные к задаче определить по таблице № 3.1 и схемам, представленным на рис. 3.1.

Таблица 3.1

Первая цифра шифра	$F_1$ кН	$F_2$ кН	Вторая цифра шифра	$q_1$ кН/м	$q_2$ кН/м	$a$ м	Третья цифра шифра № схемы	$b$ м	$c$ м
0	100	0	0	0	30	1	0	2	4
1	0	100	1	40	0	0,6	1	1	5
2	120	0	2	0	20	1	2	3	2
3	0	120	3	50	0	0,8	3	4	2
4	200	0	4	0	40	1	4	5	1
5	0	200	5	20	0	0,4	5	2	3
6	60	0	6	0	50	1	6	4	1
7	0	60	7	30	0	0,6	7	5	1
8	150	0	8	0	60	1	8	3	2
9	0	150	9	20	0	0,4	9	2	4

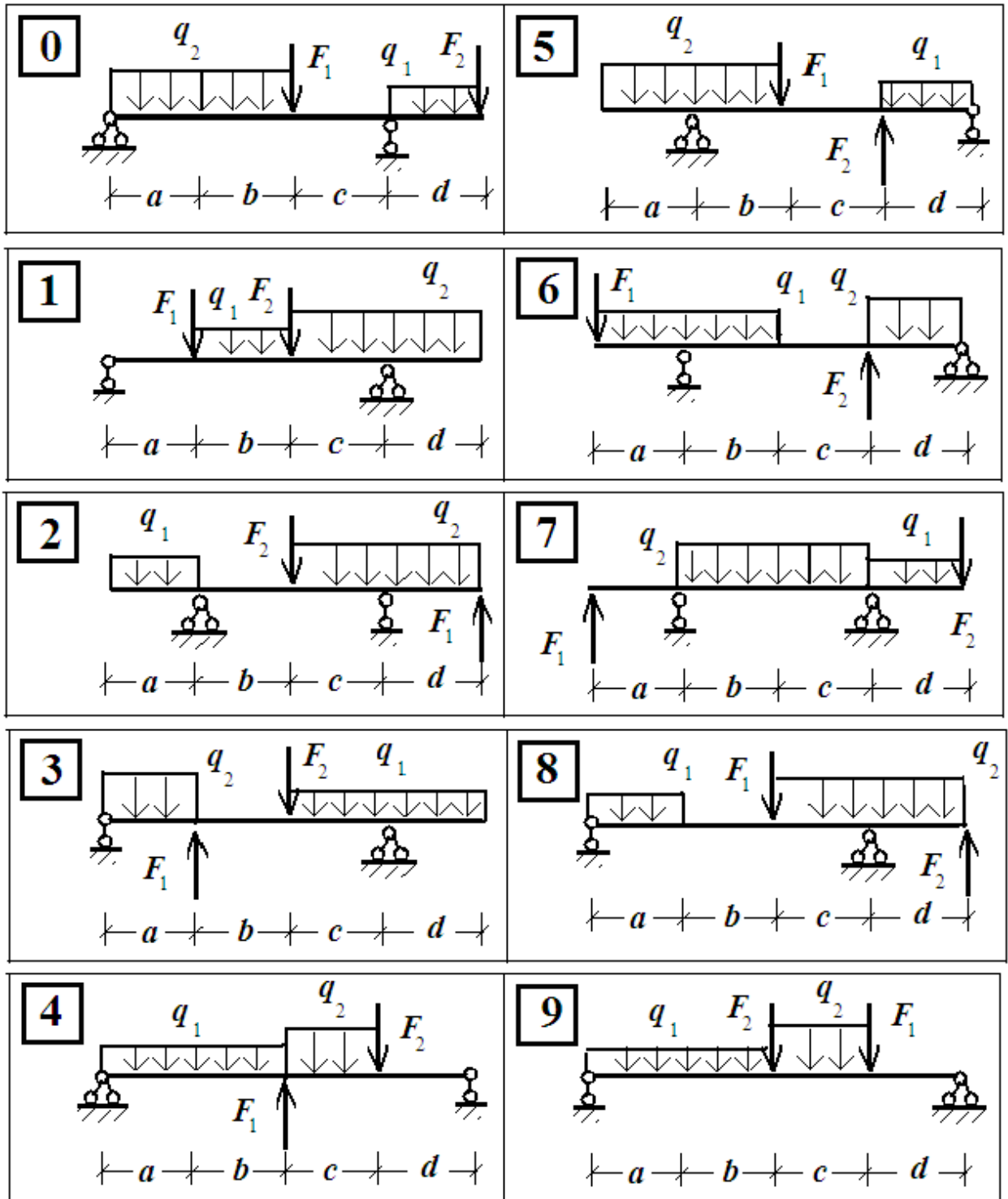


Рис. 3.1.

### Последовательность расчёта:

1. Изобразить в масштабе расчётную схему с указанием размеров и нагрузки.
2. Определить опорные реакции.
3. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
4. Определить «опасное сечение» с максимальным изгибающим моментом и «опасную точку» с максимальными нормальными напряжениями в этом сечении.
5. Из условия прочности по нормальным напряжениям определить требуемый осевой момент сопротивления и подобрать сечение стальной двутавровой балки.
6. Определить «опасное сечение» с максимальной поперечной силой и «опасную точку» с максимальными касательными напряжениями в этом сечении. Определить максимальную поперечную силу и проверить прочность по касательным напряжениям.
7. Определить «опасное сечение» и «опасную точку» в сечении из условия прочности по эквивалентным напряжениям (по IV теории прочности). Вычислить нормальные и касательные напряжения в «опасной точке опасного сечения». Определить величину эквивалентных напряжений. Сравнить её с расчётным сопротивлением.

### Пример расчёта

Подобрать сечение двутавровой стальной балки из условия прочности по нормальным напряжениям. Проверить прочность балки по касательным напряжениям и по эквивалентным напряжениям.

Принять значения: расчётного сопротивления материала на растяжение и сжатие  $R = 240$  МПа, расчётного сопротивления материала на сдвиг  $R = 130$  МПа, коэффициента условий работы  $\gamma_c = 1$ .

• Определяем опорные реакции:  $\sum X = 0$ .  $B_x = 0$ .

$$\sum M_B = 0. -46 \cdot 1,2 - 78 \cdot 2,6 + 55 \cdot 2,2 \cdot 3,7 - C \cdot 4 = 0. C = 47,425 \text{ кН.}$$

$$\sum M_c = 0. -55 \cdot 2,2 \cdot 0,3 + 78 \cdot 1,4 + -46 \cdot 5,2 + B \cdot 4 = 0. B = 41,575 \text{ кН.}$$

$$\text{Проверка: } \sum Y = 0. 41,575 + 47,425 - 46 - 55 \cdot 4 = 0.$$

- Строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Определяем максимальный изгибающий момент:

«Опасное сечение» – сечение  $A$ .  $M^{\max} = 66,705 \text{ кН}\cdot\text{м} = 66705 \text{ кН}\cdot\text{см}$ ; «опасная точка» в сечении – точка 1.

- Условие прочности по нормальным напряжениям:

$$\sigma^{\max} = \frac{M_z^{\max}}{W_z} \leq R \text{ (сечение } A, \text{ точка 1);}$$

$$W_z \geq \frac{M_z^{\max}}{R}; R = 240 \text{ МПа} = 24 \text{ кН/см}^2;$$

$$W_z \geq \frac{6670,5}{24} = 277,94 \text{ см}^3.$$

Выбираем двутавр № 24: геометрические характеристики:  $W_z = 289 \text{ см}^3$ ;  $I_z = 3460 \text{ см}^4$ ;  $S_z = 163 \text{ см}^3$ ; размеры:  $h = 24 \text{ см}$ ;  $b = 11,5 \text{ см}$ ;  $s = 0,56 \text{ см}$ ;  $t = 0,95 \text{ см}$ .

$$\text{Реальное напряжение в точке } A: \sigma^{\max} = \frac{6670,5}{289} = 23,08 \text{ кН/см}^2.$$

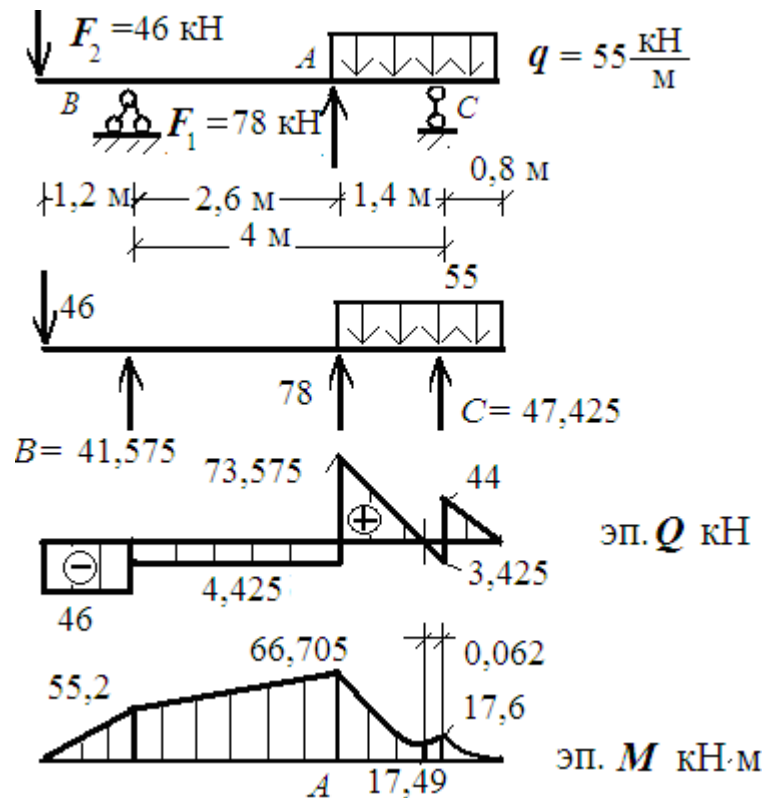
- Изображаем в масштабе сечение двутавра. Строим эпюры нормальных и касательных напряжений. Определяем «опасные точки» в сечении.

- Определяем максимальную поперечную силу:  $Q^{\max} = 73,575 \text{ кН}$  («опасное сечение»  $A$ , «опасная точка» 2).

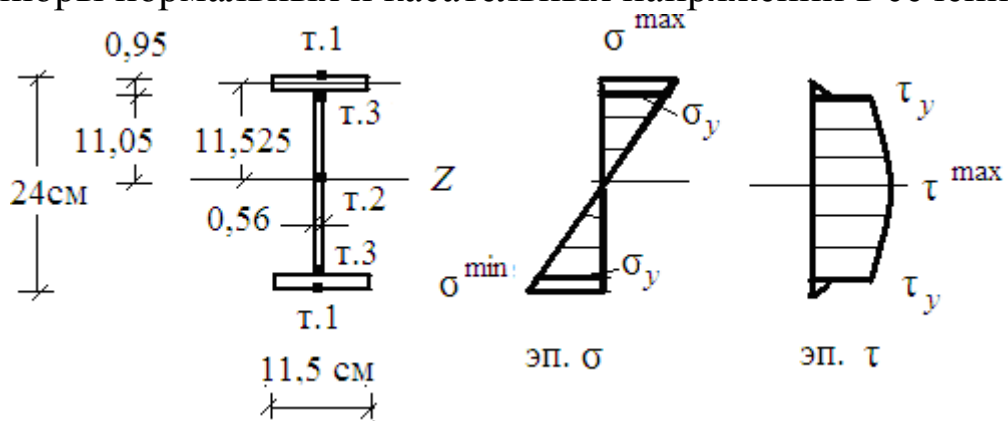
- Проверяем прочность по касательным напряжениям. Сравниваем касательные напряжения с расчётным сопротивлением материала на срез. Условие прочности по касательным напряжениям:

$$\tau^{\max} = \frac{Q^{\max} S_{\text{отс}}}{s I_z} \leq R_{\text{сп}}; R_{\text{сп}} = 130 \text{ МПа} = 13 \text{ кН/см}^2.$$

$$\tau^{\max} = \frac{73,575 \cdot 163}{0,56 \cdot 3460} = 6,19 \text{ кН/см}^2 < 13 \text{ кН/см}^2.$$



Эпюры нормальных и касательных напряжений в сечении:



Вывод: прочность обеспечена.

• Определяем «опасное сечение» А и «опасную точку» З в сечении из условия прочности по эквивалентным напряжениям (по IV теории прочности). Вычисляем нормальные и касательные напряжения в этой точке:

$$\sigma_y = \frac{M_z}{I_z} y = \frac{6670,5}{3460} \cdot 11,05 = 21,3 \text{ кН/см}^2.$$

Здесь  $y = 12 - 0,95 = 11,05$  см.

$$\tau_y = \frac{QS^{\text{отс}}}{sI_z} = \frac{QA^{\text{отс}}}{sI_z} \cdot y_{\text{отс}} = \frac{73,595 \cdot 10,93 \cdot 11,525}{0,56 \cdot 3460} = 4,78 \text{ кН/см}^2.$$

Здесь  $S_y^{\text{отс}} = A^{\text{отс}} y^{\text{отс}}$ ;  $A^{\text{отс}} = 11,5 \cdot 0,95 = 10,93 \text{ см}^2$  – площадь отсеченной части;  $y_C^{\text{отс}} = 12 - \frac{0,95}{2} = 11,525 \text{ см}$  – расстояние от центра тяжести отсеченной части до главной оси сечения  $z$ .

Определяем величину эквивалентных напряжений и сравниваем её с расчётным сопротивлением. Условие прочности по эквивалентным напряжениям:

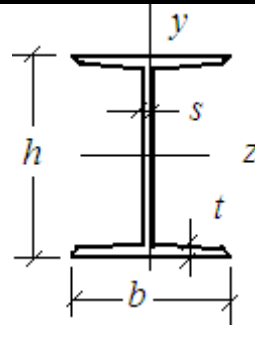
$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_y^2 + 3\tau_y^2} \leq R; \sqrt{21,3^2 + 3 \cdot 4,78^2} = 22,85 < 24 \text{ кН/см}^2.$$

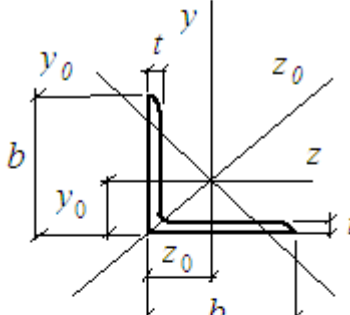
Вывод: прочность обеспечена.

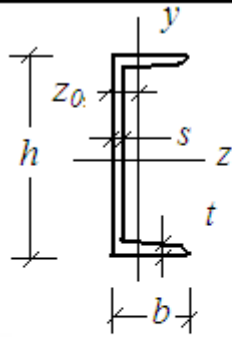


## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Таблицы сортамента прокатной стали

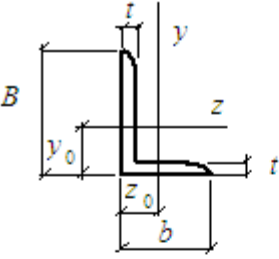
													
Двутавры горячекатаные (ГОСТ 8239 – 89)													
№	Масса 1 п.м., кг	Размеры, мм				A, см <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>z</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> , см	S <sub>z</sub> , см <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см
		h	b	s	t								
10	9,46	100	55	4,5	7,2	12	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	18,4	180	90	5,1	8,1	23,4	1280	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	21	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	24	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	27,3	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	31,5	270	125	6	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	36,5	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	42,2	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	57	400	155	8,3	13	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	92,6	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	108	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;">  <div style="text-align: center;"> <p><b>Уголки горячекатаные равнополочные</b></p> <p><b>(по ГОСТ 8509 – 93)</b></p> </div> </div>												
№ Уголка	Масса кг 1 п.м.	Размеры мм		A см <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> см <sup>4</sup>	i <sub>z</sub> см	I <sub>z<sub>0</sub></sub> <sup>max</sup> см <sup>4</sup>	i <sub>z<sub>0</sub></sub> <sup>max</sup> см	I <sub>y<sub>0</sub></sub> <sup>max</sup> см <sup>4</sup>	i <sub>y<sub>0</sub></sub> <sup>max</sup> см	I <sub>zy</sub>   см <sup>4</sup>	z <sub>0</sub> см
		b	t									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	3,05	50	4	3,89	9,21	1,54	14,6	1,94	3,8	0,99	5,42	1,3 8
	3,77		5	4,8	11,2	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	6,57	1,42
5,6	3,44	56	4	4,38	13,1	1,73	20,8	2,18	5,41	1,11	7,69	1,5 2
	4,25		5	5,41	16	1,72	25,4	2,16	6,59	1,1	9,41	1,5 7
6,3	3,9	63	4	4,96	18,9	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	11	1,69
	4,81		5	6,13	23,1	1,94	36,8	2,44	9,52	1,25	13,7	1,74
	5,72		6	7,28	27,1	1,93	42,9	2,43	11,2	1,24	15,9	1,78
7	5,38	70	5	6,86	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	18,7	1,9
	6,39		6	8,15	37,8	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	22,1	1,94
7,5	5,8	75	5	7,39	39,5	2,31	62,6	2,91	16,4	1,49	23,1	2,02
	6,89		6	8,78	46,6	2,3	73,9	2,9	19,3	1,48	27,3	2,6
	7,96		7	10,1	53,3	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	31,2	2,1
8	7,36	80	6	9,38	57	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	33,4	2,19
	8,51		7	10,8	65,3	2,45	104	3,09	27	1,58	38,3	2,23
9	8,33	90	6	10,6	82,1	2,78	130	3,5	34	1,79	48,1	2,43
	9,64		7	12,3	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	55,4	2,47
	10,9		8	13,9	106	2,76	168	3,48	43,8	1,77	62,3	2,51



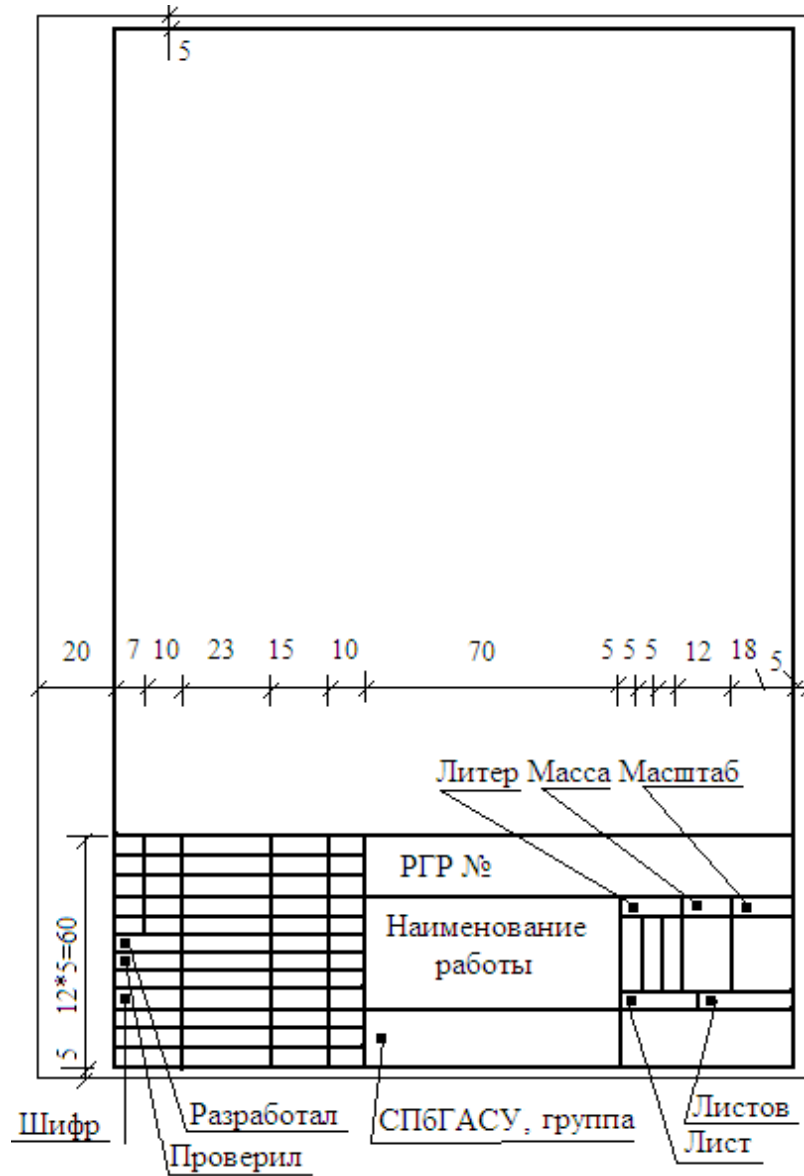
Швеллеры горячекатаные  
(ГОСТ 8240 – 89)

№ швеллера	Масса 1 п.м., кг	Размеры, мм				$A$ , см <sup>2</sup>	$I_z$ , см <sup>4</sup>	$W_z$ , см <sup>3</sup>	$i_z$ , см	$S_z$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см	$z_0$ , см
		$h$	$b$	$s$	$t$									
5	4,84	50	32	4,4	7	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5	5,9	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	133	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
16	14,2	160	64	5	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
16a	15,3	160	68	5	9	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2
18	16,3	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	18,4	200	76	5,2	9	23,4	1520	152	8,7	87,8	113	20,5	2,2	2,07
22	21	220	82	5,4	9,5	26,4	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	24	240	90	5,6	10	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
27	27,7	270	95	6	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11	40,5	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68
40	48,3	400	115	8	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

											
№ уголка	Масса 1 п.м., кг	Размеры, мм			$A$ , см <sup>2</sup>	$I_z$ , см <sup>4</sup>	$i_z$ , см	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$i_y$ , см	$z_0$ , см	$y_0$ , см
		$B$	$b$	$t$							
5/3,2	2,4	50	32	4	3,17	7,9	1,59	2,56	0,9	0,76	1,65
7,5/5	4,79	75	50	5	6,11	34,8	2,39	12,5	1,43	1,17	2,39
9/5,6	6,7	90	56	6	8,54	70,6	2,88	21,2	1,58	1,28	2,95
10/6,3	7,53	100	63	6	9,58	98,3	3,2	30,6	1,79	1,42	3,23
	8,7			7	11,1	113	3,19	35	1,78	1,46	3,28
	9,87			8	12,6	127	3,18	39,2	1,77	1,5	3,32
11/7	10,9	110	70	8	13,9	172	3,51	54,6	1,98	1,64	3,61
12,5/8	11	125	80	7	14,1	227	4,01	73,7	2,29	1,8	4,01
	12,6			8	16	256	4	83	2,28	1,84	4,05
	15,5			10	19,7	312	3,98	100	2,26	1,92	4,14
14/9	14,1	140	90	8	18	364	4,49	120	2,58	2,03	4,49
	17,5			10	22,2	444	4,47	146	2,56	2,12	4,58
16/10	18	160	100	9	22,9	606	5,15	186	2,85	2,24	5,19
	19,8			10	25,3	667	5,13	204	2,84	2,28	5,23
	23,6			12	30	784	5,11	239	2,82	2,36	5,32
18/11	22,2	180	110	10	28,3	952	5,8	275	3,12	2,44	5,88
	26,4			12	33,7	1123	5,77	324	3,1	2,52	5,97
20/12,5	27,4	200	125	11	34,9	1449	6,45	446	3,58	2,79	6,5
	29,7			12	37,9	1568	6,43	482	3,57	2,83	6,54
	34,4			14	43,9	1801	6,41	551	3,54	2,91	6,62
	39,1			16	49,8	2026	6,38	617	3,52	2,99	6,71

## Приложение 2.

### Образец оформления первого листа расчета (формат листа А-4)



**Образец оформления последующих листов расчета  
(формат листа А-4)**

The diagram shows a rectangular layout for a calculation sheet. The overall width is 200 units and the height is 575 units. The layout is divided into several sections:

- A top margin of 20 units.
- A large central area for calculations.
- A bottom margin of 5 units.
- A header row at the bottom with the following labels and widths:
 

Группа	Ф.И.О	Шифр	Лист	Дата
■	■	■	■	■
- A signature area labeled "Подпись" located above the header row.

Dimensions for the header row: 20, 40, 25, 35, 25, 25, 25, 10.

Dimensions for the signature area: 5.

Dimensions for the overall sheet: 200 (width), 575 (height).

### Рекомендуемая литература

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П., Сопротивление материалов, М.: «Высшая школа», 1995.
2. Дарков А.В., Шапиро Г.С., Сопротивление материалов, «Высш. школа», 1989.
3. Феодосьев В.И., Сопротивление материалов, М.: изд-во МГТУ им. Баумана, 2000.
4. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В., Справочник по сопротивлению материалов, Киев: «Наукова думка», 1988.
5. Куприянов И.А., Масленников Н.А., Сопротивление материалов. Сборник заданий и методические указания к расчетно-графическим работам. Учебное пособие, Санкт-Петербург, ИД «Петрополис», 2019.