

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению расчетно-графической работы

по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку»

Направления подготовки 08.03.01 «Строительство»
Направленность (профиль) «Строительство зданий и сооружений»
Квалификация – Бакалавр

Пятигорск 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Наименование и содержание расчетно-графических работ	3
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	17

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Металлические конструкции включая сварку» имеет *цель*:

- привитие студентам твердых знаний по теории расчета строительных металлоконструкций зданий и сооружений;
- развитие студентами целостного и комплексного представления проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации строительных металлоконструкций;
- овладение студентами практическими методами определения прочности, жесткости, устойчивости строительных металлоконструкций зданий и сооружений для их надежного и экономического проектирования.

Задачи изучения дисциплины включают:

- определение строительных металлоконструкций, систематизация и классификация объектов, их исследования, уточнение области рационального применения, а также перспектив развития и путей совершенствования;
- представление теоретических положений, расчетных и конструктивных схем, методов, основных принципов проектирования строительных металлоконструкций с физическим содержанием решаемых инженерных задач;
- наработку практических и методических навыков проектирования строительных металлоконструкций зданий и сооружений;
- формирование необходимой инженерной интуиции и глазомера.

Наименование и содержание расчетно-графических работ.

Расчетно-графическая работа № 1. Подбор коробчатого сечения балки.

В число геометрических характеристик плоских сечений входят: площадь сечения, статические моменты, моменты инерции, радиусы инерции, моменты сопротивления сечения.

Статическим моментом сечения относительно оси называют взятую по всей площади сумму произведений площадей элементарных площадок dA на расстоянии от них до этой оси (рис.1):

$$S_y = \int_A x dA ; \quad S_x = \int_A y dA ,$$

где x, y – координаты элементарной площадки.

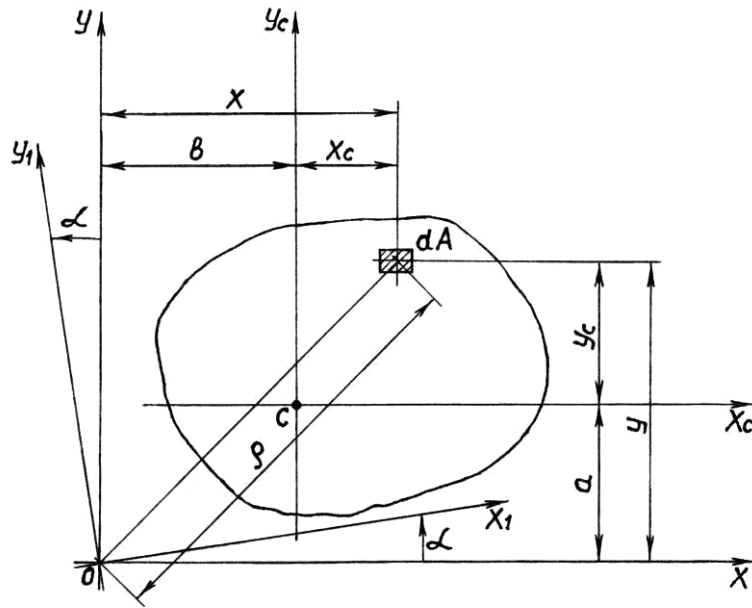


Рис. 1

Статический момент сечения относительно его центральной оси (проходящей через центр тяжести фигуры) равен нулю.

Осевыми моментами инерции плоского сечения относительно оси называют взятую по всей площади сечения сумму произведений площадей элементарных площадок на квадраты расстояний от них до этой оси:

$$I_y = \int_A x^2 dA ; I_x = \int_A y^2 dA .$$

Полярный момент инерции сечения определяют по формуле:

$$I_\rho = \int_A \rho^2 dA ,$$

где ρ – расстояние от площадки dA до точки (полюса), относительно которой вычисляется полярный момент инерции. Очевидно, что

$$I_\rho = \int_A (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y .$$

Центробежный момент инерции сечения относительно двух взаимно перпендикулярных осей определяется интегралом:

$$S_{xy} = \int_A xy dA .$$

При параллельном переносе осей координат:

$$I_x = \int_A (y_c + a)^2 dA = I_{xc} + a^2 A ;$$

$$I_y = \int_A (x_c + b)^2 dA = I_{xc} + b^2 A ;$$

$$I_{xy} = \int_A (y_c + a)(x_c + b) dA = I_{xcyc} + abA .$$

При повороте осей на угол α :

$$I_{x1} = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha - I_{xy} \sin 2\alpha ;$$

$$I_{y1} = I_x \sin^2 \alpha + I_y \cos^2 \alpha + I_{xy} \sin 2\alpha ;$$

$$I_{x1y1} = \frac{1}{2} (I_x - I_y) \sin 2\alpha + I_{xy} \cos 2\alpha ,$$

где I_{x1}, I_{y1}, I_{x1y1} – моменты инерции сечения относительно осей x_1 и y_1 повернутых на угол α против часовой стрелки по отношению к осям x и y (рис.1).

Моменты инерции (осевые и центробежные) сложной фигуры определяют как сумму моментов инерции (осевых и центробежных) составляющих площадок (рис. 2). При этом используются формулы перехода к параллельным осям:

$$I_x = \sum (I_{xi} + a_i^2 A_i); \quad I_y = \sum (I_{yi} + b_i^2 A_i); \quad I_{xy} = \sum (I_{xiyi} + a_i b_i A_i),$$

где i – номер площадки, $i = 1, 2, \dots, n$; n – число площадок, на которое разбивается вся площадь сложной фигуры; I_{xi}, I_{yi}, I_{xiyi} – осевые и центробежный моменты инерции i -ой площадки относительно осей x_i и y_i , проходящих через центр тяжести этой площадки и параллельных осям x и y ; A_i – площадь i -ой площадки; a_i, b_i – координаты центра тяжести i -ой площадки в системе координат xOy .

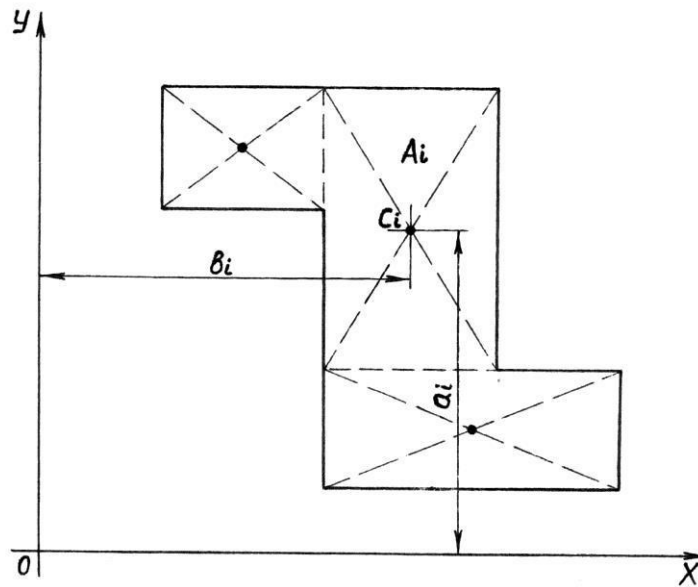


Рис. 2

Радиусы инерции плоского сечения относительно осей x и y определяют по формулам:

$$I_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; \quad I_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}},$$

откуда

$$I_x = i_x^2 A; \quad I_y = i_y^2 A.$$

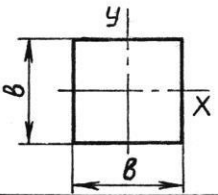
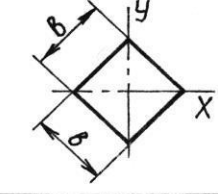
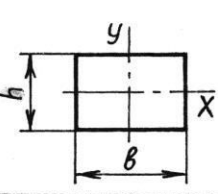
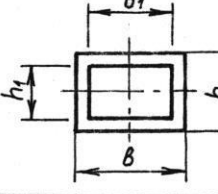
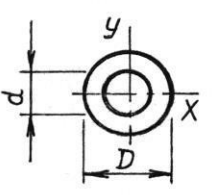
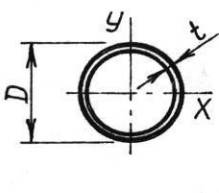
Моментом сопротивления сечения относительно данной оси называют отношение момента инерции, взятого относительно этой оси к расстоянию от оси до наиболее удаленного волокна сечения:

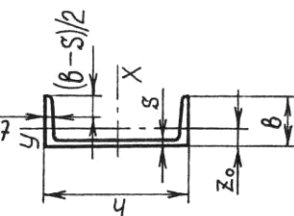
$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}; \quad W_y = \frac{I_y}{x_{\max}}.$$

Полярным моментом сопротивления сечения называется отношение

$$W_\rho = \frac{I}{\rho_{\max}}.$$

Геометрические характеристики простейших фигур

	$A = b^2$ $I_x = I_y = b^4/12$ $W_x = W_y = b^3/6 = 0,167 b^3$ $i_x = i_y = 0,289 b$
	$A = b^2$ $I_x = I_y = b^4/12$ $W_x = W_y = 0,118 b^3$ $i_x = i_y = 0,289 b$
	$A = bh$ $I_x = bh^3/12; I_y = hb^3/12$ $W_x = bh^2/6; W_y = hb^2/6$ $i_x = 0,289 h; i_y = 0,289 b$
	$A = bh - b_1 h_1$ $I_x = (bh^3 - b_1 h_1^3)/12$ $W_x = (bh^3 - b_1 h_1^3)/(6h)$ $i_x = \sqrt{(bh^3 - b_1 h_1^3)/[12(bh - b_1 h_1)]}$
	$A = \pi D^2(1 - C^2)/4, C = d/D$ $I_x = I_y = 0,05 D^4(1 - C^4)$ $W_x = W_y = 0,1 D^3(1 - C^3)$ $i_x = i_y = D\sqrt{1 + C^2}/4$
	$A = \pi D t, t \ll D$ $I_x = I_y = \pi D^3 t / 8 = 0,3926 D^3 t$ $W_x = W_y = \pi D^2 t / 4 = 0,7853 D^2 t$ $i_x = i_y = 0,353 D$



Сортамент прокатной стали

Сталь прокатная широкополосная универсальная по ГОСТ 82-57

t=4 мм; b=160+10+...+10=300 мм

t=5 мм; b=160+10+...+10=340 мм

t=6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 60 мм;

b=160+10+...+10=1050 мм

Плотность (объемная масса) стали: ρ=7850 кг/м³

Швеллеры по ГОСТ 8240-72*

№	h, мм	b, мм	S, мм	t, мм	A, см²	I _x , см⁴	W _x , см³	l _x , см	I _y , см⁴	W _y , см³	l _y , см	Z ₀ , см	K2/M
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,40	6,46	1,370	1,44	8,59
12	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	31,20	8,52	1,530	1,54	10,40
14	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	45,40	11,0	1,700	1,67	12,3
16	160	64	5,0	8,4	18,1	747	93,4	6,42	63,30	13,8	1,870	1,80	14,2
18	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121,0	7,24	86,0	17,0	2,040	1,94	16,3
20	200	76	5,2	9,0	23,4	1520	152,0	8,07	113,0	20,5	2,200	2,07	18,4
22	220	82	5,4	10,0	26,7	2110	192,0	8,89	151,0	25,1	2,370	2,21	21,0
24	240	90	5,6	10,5	30,6	2990	242,0	9,73	208,0	31,6	2,600	2,42	24,0
27	270	95	6,0	11,0	35,2	4160	308,0	10,90	262,0	37,3	2,730	2,47	27,7
30	300	100	6,5	12,0	40,5	5810	387,0	12,0	327,0	43,6	2,840	2,52	31,8
40	400	115	8,0	15,0	61,5	15220	761,0	15,70	642,0	73,4	3,230	2,75	48,3

Пример 1. Определить высоту коробчатого сечения (рис. 3) балки, соблюдая следующие условия:

1. $I_{x, \text{треб}}$ - требуемое значение момента инерции;
2. $h = (1,5 \dots 3,0)b$ - ширина сечения составляет 1/(1,5...3,0) часть высоты;
3. $h = 50t$ - толщина стенки сечения составляет 1/50 часть высоты.

Для решения задачи определяется момент инерции коробчатого сечения относительно его горизонтальной центральной оси с использованием параллельного переноса осей:

$$I_x = 2I_{XB} + 2I_{XГ} + 2A_{Гa}^2 = 2 \left[\frac{th^3}{12} + \frac{bt^3}{12} + bt \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right] = \frac{th^3}{6} + \frac{bt^3}{6} + \frac{bth^2}{2}, \text{ где } I_{XB} = \frac{th^3}{12} -$$

момент инерции вертикала (стенки) коробчатого сечения;
 $= bt^3$

$I_{XГ} = \frac{bt^3}{12}$ - момент инерции горизонтала (полки) относительно собственной оси;
 $a = h/2 - t/2 \approx h/2$ - расстояние между осями.

При $h = 1,5b$

$$I_x = \frac{th^3}{6} + \frac{t^3h}{6 \cdot 1,5} + \frac{hth^2}{2 \cdot 1,5} = \frac{th^3}{2} + \frac{t^3h}{9};$$

при $h = 3,0b$

$$I_x = \frac{th^3}{6} + \frac{t^3h}{6 \cdot 3,0} + \frac{hth^2}{2 \cdot 3,0} = \frac{th^3}{3} + \frac{t^3h}{18};$$

с учетом $h = 50t$

$$I_x = \frac{hh^3}{2 \cdot 50} + \frac{h^3h}{9 \cdot 50^3} = \frac{h^4}{100} + \frac{h^4}{1125000} \approx \frac{h^4}{100};$$

$$I_x = \frac{hh^3}{3 \cdot 50} + \frac{h^3h}{18 \cdot 50^3} = \frac{h^4}{150} + \frac{h^4}{2250000} \approx \frac{h^4}{150}.$$

Таким образом, $I_x = \frac{h^4}{150 \dots 100}$,

откуда $h = \sqrt[4]{(100 \dots 150)I_x} = (3,2 \dots 3,5)\sqrt[4]{I_x}$.

Окончательно

$$h_{\text{треб}} = (3,2 \dots 3,5)\sqrt[4]{I_{x,\text{треб}}}.$$

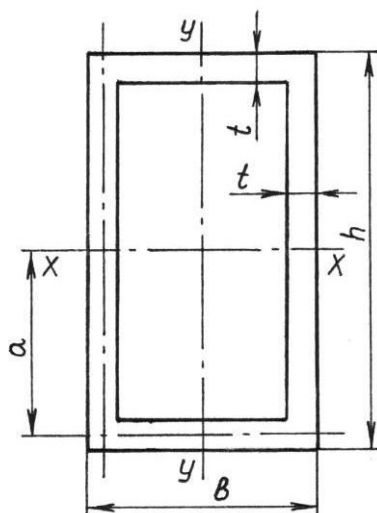


Рис. 3

Пример 2. Подобрать составное коробчатое сечение балки из стального проката и определить его геометрические характеристики, соблюдая следующие условия:

- $I_{x,\text{треб.}} = 30500 \text{ см}^4$ - требуемое значение инерции составного сечения;
- $h = (1,5 \dots 3,0)b$ - ширина составного сечения составляет $1/(1,5 \dots 3,0)$ часть высоты;
- $h = (25 \dots 50)t$ - толщина стенки составного сечения составляет $1/(25 \dots 50)$ часть высоты;
- $\frac{\sigma_{x,\text{треб.}}}{\sigma_{x,\text{расч.}}} = 0,95 \dots 1,03$ - недонапряжение составного сечения не должно превышать 5%, а перенапряжение – 3%;
- $A \rightarrow A_{\text{min}}$ - составное сечение должно иметь минимальную площадь, т. е. собственный вес (масса) балки должен быть наименьшим.

Задачу следует решать в определенной последовательности.

1. Определение высоты составного сечения

$$h = (3,2 \dots 3,5) \sqrt[4]{I_{x, \text{треб.}}} = (3,2 \dots 3,5) \sqrt[4]{30500} = 42,3 \dots 46,3 \text{ см}$$

2. Определение ширины составного сечения

$$b = h / (1,5 \dots 3,0) = (42,3 \dots 46,3) / (1,5 \dots 3,0) = 14,1 \dots 30,9 \text{ см}$$

3. Подбор составного
рис. 4)

сечения (1 вариант,

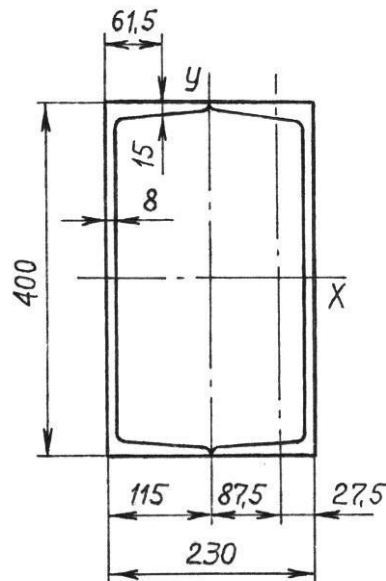


Рис. 4

;04.№]2 ↑

$$A_{\Gamma} = 61,5 \text{ см}^2 ; I_{x\Gamma} = 15220 \text{ см}^4 ; I_{y\Gamma} = 642 \text{ см}^4 ; z_0 = 2,75 \text{ см} ;$$

$$t_{\Gamma} = 0,8 \text{ см} ; h_{\Gamma} = 400 \text{ мм} ; b_{\Gamma} = 115 \text{ мм} ;$$

$$h / b = 400 / (2 \cdot 115) = 1,74 ; \quad h / t = 400 / 8 = 50$$

$$A = 2A_{\Gamma} = 2 \cdot 61,5 = 123 \text{ см}^2 ; \quad 0,7850 \cdot 123 = 96,6 \text{ кг} / \text{м}$$

$$I_{x, \text{расч.}} = 2I_{x\Gamma} = 2 \cdot 15220 = 30440 \text{ см}^4$$

I

$$I_{x, \text{треб.}} / I_{x, \text{расч.}} = 30500 / 30440 = 1,002$$

4. Определение геометрических характеристик составного сечения (1 вариант)

$$A = 123 \text{ см}^2 ; \quad I_x = 30440 \text{ см}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{30440}{123}} = 15,73 \text{ см}$$

$$W_x = \frac{2}{h} I_x = 30440 / (40 / 2) = 1522 \text{ см}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{10701}{123}} = 9,33 \text{ см}$$

$$W_y = \frac{2I_y}{b} = \frac{2 \cdot 10701}{23} = 931 \text{ см}^3$$

3. Подбор составного сечения (2 вариант, рис. 5)

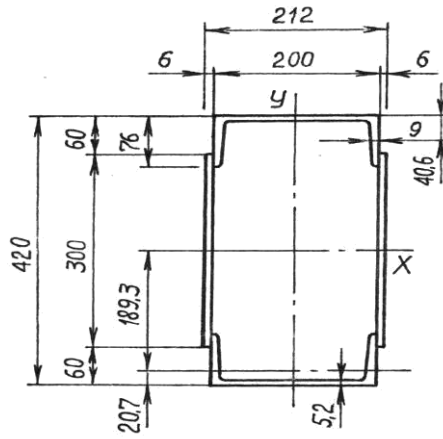


Рис. 5

№ [2]20; -6x300)
 $[№20 A_I = 23,4 \text{ см}^2 ; I_{X_I} = 1520 \text{ см}^4 ; I_{Y_I} = 113 \text{ см}^4 ; z_0 = 2,07 \text{ см} ; S_I = 5,2 \text{ мм} ; h_I = 200 \text{ мм} ; b_I = 76 \text{ мм} ;$
 $h / b = 420 / (212) = 1,98 ; h / t = 300 / 6 = 50$
 $A = 2(A_I + A_B) = 2(23,4 + 0,6 \cdot 30) = 82,8 \text{ см}^2$
 $I_{x, \text{расч.}} = 2(I_{Y_I} + A_I a^2 + I_{XB}) = 2(113 + 23,4 \cdot 18,93^2 + 0,6 \cdot 30^3 / 12) = 19696 \text{ см}^4$
 $I_{x, \text{треб.}} / I_{x, \text{расч.}} = 30500 / 19696 = 1,549 > 1,03$

3. Подбор составного сечения (3 вариант, рис.6)

;42№ [2]1-10x320)
 $[№24 A_I = 30,6 \text{ см}^2 ; I_{X_I} = 2990 \text{ см}^4 ; I_{Y_I} = 208 \text{ см}^4 ; z_0 = 2,42 \text{ см} ; t_I = 5,6 \text{ мм} ; h_I = 240 \text{ мм} ; b_I = 90 \text{ мм} ;$
 $h / b = 460 / (260) = 1,77 ; h / t = 320 / 10 = 32$
 $A = 2(A_I + A_B) = 2(30,6 + 1,0 \cdot 32) = 125,2 \text{ см}^2 \quad 0,7850 \cdot 125,2 = 98,3 \text{ кг / м}$
 $I_{x, \text{расч.}} = 2(I_{Y_I} + A_I a^2 + I_{XB}) = 2(208 + 30,6 \cdot 20,58^2 + 1,0 \cdot 32^3 / 12) = 31800 \text{ см}^4$

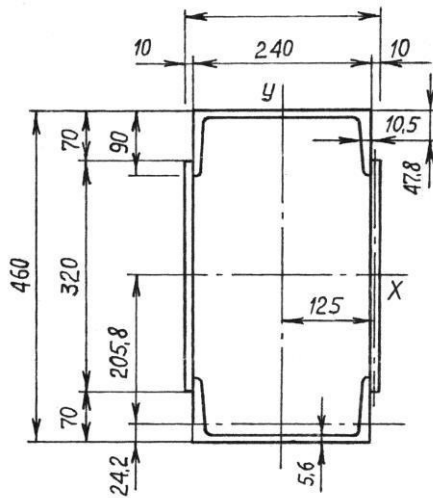


Рис. 6

4. Определение геометрических характеристик составного сечения (3 вариант)

$$A = 125,2 \text{ см}^2; I_x = 31800 \text{ см}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{31800}{125,2}} = 15,94 \text{ см}$$

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = 31800 / (46 / 2) = 1383 \text{ см}^3$$

$$I_y = 2(I_{x1} + I_{yB} + A_B a_1^2) = 2(2990 + 1,0^3 \cdot 32 / 12 + 1,0 \cdot 32 \cdot 12,5^2) = 15985 \text{ см}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{15985}{125,2}} = 11,30 \text{ см}$$

$$W_y = \frac{2I_y}{b} = \frac{2 \cdot 15985}{26} = 1230 \text{ см}^3$$

3. Подбор составного сечения (4 вариант, рис.7)

2¹-9х440; -9х200

$$h / b = 458 / 218 = 2,1; \quad h / t = 440 / 9 = 48,9$$

$$A = 2(A_b + A_r) = 2(0,9 \cdot 44 + 0,9 \cdot 20) = 115,2 \text{ см}^2$$

$$0,7850 \cdot 115,2 = 90,5 \text{ кг / м}$$

$$I_{x, \text{расч.}} = 2(I_{XB} + I_{Xr} + A_r a^2) = 2(0,9 \cdot 44^3 / 12 + 0,9^3 \cdot 20 / 12 + 0,9 \cdot 20 \cdot 22,45^2) = 31660 \text{ см}^4$$

$I_{x, \text{треб.}} / I_{x, \text{расч.}}$

$$= 30500 / 31660 = 0,963$$

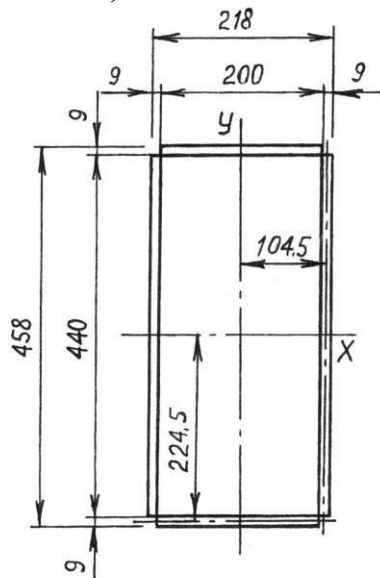


Рис. 7

4. Определение геометрических характеристик составного сечения (4 вариант)

$$A = 115,2 \text{ см}^2; \quad I_x = 31660 \text{ см}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{31660}{115,2}} = 16,58 \text{ см}$$

$$W_x = \frac{2I_x}{h} = 31660 / (45,8 / 2) = 1383 \text{ см}^3$$

$$I_y = 2(I_{yB} + A_B a_1^2 + I_{yT}) = 2(0,9^3 \cdot 44 / 12 + 0,9 \cdot 44 \cdot 10,45^2 + 0,9 \cdot 20^3 / 12) = 10615 \text{ см}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{10615}{115,2}} = 9,60 \text{ см}$$

$$W_y = \frac{2I_y}{b} = \frac{2 \cdot 10615}{21,8} = 974 \text{ см}^3$$

Результаты расчетов сводятся в виде таблицы

Таблица 2

№	Состав сечения	A; см	h; мм	b; мм	I _x ; см	W _x ; см	i _x ; см	I _y ; см	W _y ; см	i _y ; см	кг/м	$\frac{I_{\text{треб}}}{I_{\text{расч.}}}$
1	2(№40)	123,0	400	230	30440	1522	15,73	10701	931	9,33	96,6	1,002
2	2(№24; -10x320)	125,2	460	260	31800	1383	15,94	15985	1230	11,30	98,3	0,959
3	2(-9x440; -9x200)	115,2	458	218	31660	1383	16,58	10615	974	9,60	90,5	0,963

Расчетно-графическая работа № 2. Расчет двухопорной балки на прочность и жесткость.

Пример 3. Рассчитать двухопорную балку (рис. 8) на прочность и жесткость, соблюдая следующие условия:

- $\sigma_{\max} = M_{\max} / W_x \leq [\sigma]$ - условие прочности, где $[\sigma] = 1600 \text{ кгс/см}^2$ - материал балки сталь Ст 3 ($E = 2100000 \text{ кгс/см}^2$);
- $f_{\max} \leq [f]$ - условие жесткости, где $[f] = l / 400$ - допускаемый прогиб составляет 1/400 часть пролета балки;
- $h \leq l / (15 \dots 10)$ - высота составного коробчатого сечения балки не должна превышать 1/15...1/10 часть ее пролета;
- недонапряжение составного сечения по одному из условий (прочности или жесткости) не должна превышать 5%, а перенапряжение – 3%:

$$W_{x,\text{треб.}} / W_{x,\text{расч.}} = 0,95 \dots 1,03 \quad \text{или} \quad I_{x,\text{треб.}} / I_{x,\text{расч.}} = 0,95 \dots 1,03 .$$

Задачу можно решать в следующей очередности.

- Определение опорных реакций

$$\sum M_B = 0; V_A l - 0,75Fl - ql^2 / 2 = 0;$$

$$V_A = 0,75F + ql / 2 = 0,75 \cdot 0,3 + 0,6 \cdot 15 / 2 = 4,725 \text{ тс}$$

$$\sum M_A = 0; V_B l - 0,25Fl - ql^2 / 2 = 0;$$

$$V_B = 0,25F + ql / 2 = 0,25 \cdot 0,3 + 0,6 \cdot 15 / 2 = 4,575 \text{ тс}$$

$$\sum y = V_A + V_B - F - ql = 4,725 + 4,575 - 0,300 - 0,6 \cdot 15 = 9,30 - 9,30 = 0$$

- Построение эпюр Q и M

$$z_1 = 0 \dots 3,750 \text{ м}; Q = V_A - qz_1; M = V_A z_1 - qz_1^2 / 2$$

$$z_1 = 0 \quad Q = V_A = 4,725 \text{ тс}; \quad M = 0$$

$$z_1 = 3,750 \text{ м}; \quad Q = 4,725 - 0,6 \cdot 3,750 = 2,475 \text{ тс};$$

$$M = 4,725 \cdot 3,750 - 0,6 \cdot 3,750^2 / 2 = 13,50 \text{ тс} \cdot \text{м}$$

$$z_2 = 0 \dots 11,250 \text{ м}; Q = -V_B + qz_2; M = V_B z_2 - qz_2^2 / 2$$

$$z_2 = 0 \quad Q = -V_B = -4,575 \text{ тс}; \quad M = 0$$

$$z_2 = 11,250 \text{ м}; \quad Q = -4,575 + 0,6 \cdot 11,250 = 2,175 \text{ тс};$$

$$M = 4,575 \cdot 11,250 - 0,6 \cdot 11,250^2 / 2 = 13,50 \text{ тс} \cdot \text{м}$$

$$Q = 0; V_B - qz_2 = 0; z_2 = V_B / q = 4,575 / 0,6 = 7,625 \text{ м}$$

$$z_2 = 7,625 \text{ м}; M_{\max} = 4,575 \cdot 7,625 - 0,6 \cdot 7,625^2 / 2 = 17,442 \text{ тс} \cdot \text{м}$$

3. Определение прогиба с использованием принципа суперпозиции

$$f_{q \max} = 5ql^4 / (384EI_x) = 5 \cdot 6 \cdot 1500^4 / (384 \cdot 2100000I_x) = (188337 / I_x) \text{ см}$$

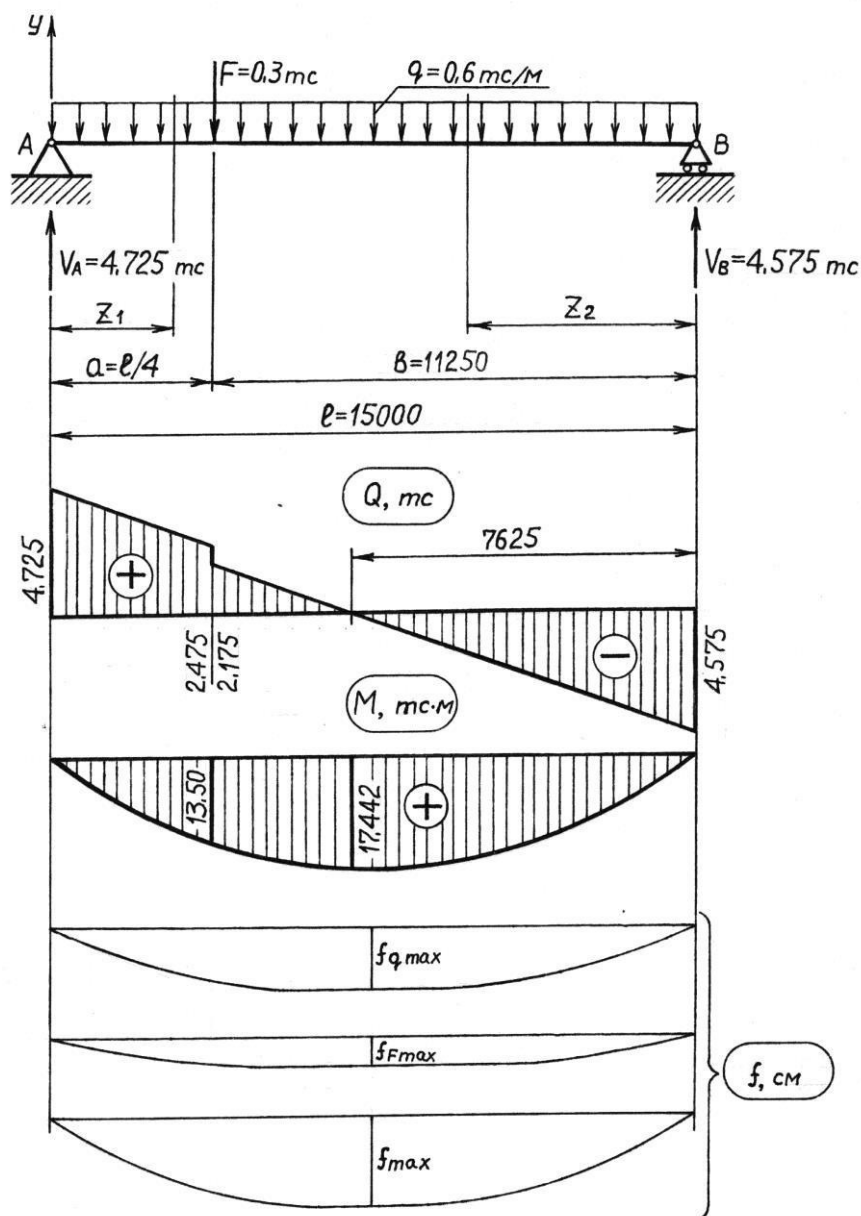


Рис.8

$$f_{F \max} = Fa(3l^2 - 4a^2) / (48EI_x) = F \cdot \frac{l}{4} \left(3l^2 - 4 \frac{l^2}{4} \right) / (48EI_x) =$$

$$= 0,6875Fl^3 / (48EI_x) = 0,6875 \cdot 300 \cdot 1500^3 / (48 \cdot 2100000I_x) =$$

$$= (6905 / I_x) \text{ см}$$

$$f_{\max} = f_{q \max} + f_{F \max} = (188337 + 6905) / I_x = (195242 / I_x) \text{ см}$$

4. Определение требуемого момента инерции составного сечения

$$I_{\max} = 195242 / I_{x, \text{треб.}} \leq [f] = l / 400 ; \quad 195242 / I_{x, \text{треб.}} = l / 400$$

$$I_{x, \text{треб.}} = 195242 \cdot 400 / l = 195242 \cdot 400 / 1500 = 52065 \text{ см}^4$$

5. Определение требуемого момента сопротивления составного сечения

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W_{x, \text{треб.}} \leq [\sigma]$$

$$W_{x, \text{треб.}} = M_{\max} / [\sigma] = 1744200 / 1600 = 1090 \text{ см}^3$$

6. Подбор сечения (рис. 9)

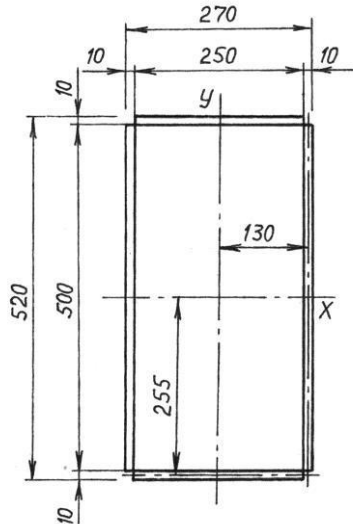


Рис. 9

$$h \leq l / (15 \dots 10) = 1500 / (15 \dots 10) = 100 \dots 150 \text{ см}$$

$$h = (3,2 \dots 3,5) \sqrt[4]{I_{x, \text{треб.}}} = (3,2 \dots 3,5) \sqrt[4]{52065} = 48,3 \dots 52,9 \text{ см}$$

$$) 2 \cdot 10 \times 500; - 10 \times 250)$$

$$I_x = 2(I_{XB} + I_{XГ} + A_{Г} a^2) = 2(1 \cdot 50^3 / 12 + 1^3 \cdot 25 / 12 + 1 \cdot 25 \cdot 25,5^2) = 52967 \text{ см}^4$$

$$W_x = I_x / (h / 2) = 52967 / (52 / 2) = 2037 \text{ см}^3$$

$$A = 2(A_B + A_{Г}) = 2(1 \cdot 50 + 1 \cdot 25) = 150 \text{ см}^2 \quad ; \quad 0,7850 \cdot 150 = 117,8 \text{ кг} / \text{м}$$

$$I_{x, \text{треб.}} / I_{x, \text{расч.}} = 52065 / 52967 = 0,9830 \approx 0,98$$

$$W_{x, \text{треб.}} / W_{x, \text{расч.}} = 1090 / 2037 = 0,5351 \approx 0,54$$

7. Определение расчетного прогиба

$$J_{\text{max}} = 195242 / I_{x, \text{расч.}} = 195242 / 52967 = 3,69 \text{ см}$$

$$f_{\text{max}} / l = 3,69 / 1500 = 1 / 407 < [f / l] = 1 / 400$$

Результаты расчетов можно записать в виде таблицы

Таблица 4

Состав сечения	A; см ²	I _x ; см ⁴	W _x ; см ³	M _{max} ; мс м	σ _{max} ^к ; кг/см ²	[σ]; кгс/см ² / σ _T / [σ]	f _{max} ; см	f _{max} / l	[f / l]	(f _{max} / l) / [f / l]	(f _{max} / l) / [f / l]	
2(-10x500; -10 x250)	150	52967	2037	17,442	856,3	1600	0,54	3,69	1/407	1/400	0,98	117,8

Расчетно-графическая работа № 3. Расчет на устойчивость стержневых элементов.

Расчет на устойчивость стержневых элементов, подверженных центральному сжатию силой N, выполняют по формуле:

$\sigma / (\gamma_c R_y) = N / (\varphi A \gamma_c R_y) \leq 1$ или $\sigma / (\gamma_c R_y) = N / (\varphi A \gamma_c R_y) = 0,95 \dots 1,03$, где φ - коэффициент устойчивости при центральном сжатии (коэффициент продольного изгиба); A - площадь сечения («брутто»); γ_c - коэффициент условий работы, $\gamma_c = 0,8 \dots 1$; R_y - расчетное сопротивление стали по пределу текучести σ_T , для стали Ст3 $R_y = 2100 \text{ кгс} / \text{см}^2$.

Значения коэффициента φ вычисляют в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$:

$$\text{при } 0 < \bar{\lambda} \leq 2,5 \quad \varphi = 1 - 0,066 \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}};$$

$$\text{при } 2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5 \quad \varphi = 1,46 - 0,34 \bar{\lambda} + 0,021 \bar{\lambda}^2;$$

при $4,5 < \bar{\lambda}$ $\varphi = 332 / \left[\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda}) \right]$,
 где $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$; E - модуль упругости стали, $E = 210000 \text{ кгс/см}^2$; λ - гибкость стержневого элемента, $\lambda = l_{ef} / i_{\min}$; l_{ef} - расчетная длина стержневого элемента, $l_{ef} = \mu l$; μ - коэффициент приведения длины l стержневого элемента (рис. 10).

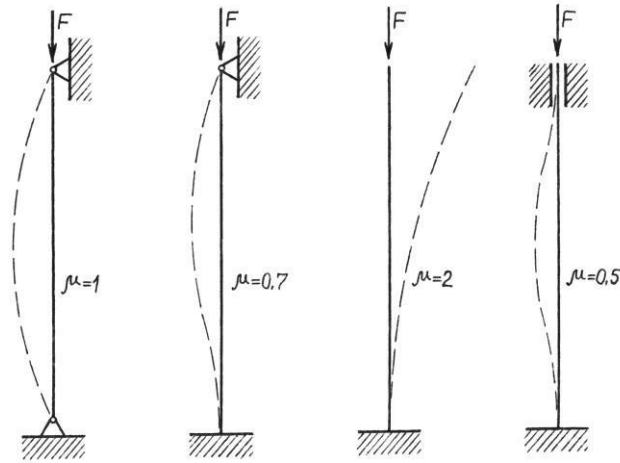


Рис. 10

По конструктивным соображениям гибкости центрально-сжатых стержневых элементов из стали не должны превышать предельно-допустимых значений:

$$\lambda \leq [\lambda], \text{ где } [\lambda] = 120 \dots 180.$$

Пример 4. Рассчитать на устойчивость центрально-сжатую стойку составного коробчатого сечения квадратной формы (рис.11), соблюдая следующие условия:

- $\sigma / (R_y) = N / (\varphi A R_y) = 0,95 \dots 1,03$ - условие устойчивости с недонапряжением не более 5% и перенапряжением до 3% (здесь коэффициент условий работы $\gamma_c = 1$);
- $[\lambda] = 150$ - предельно-допустимая гибкость;
- материал стойки – сталь Ст3: $R_y = 2100 \text{ кгс/см}^2$;
- $h \leq l / (15 \dots 10)$ - высота составного сечения стойки не должна превышать 1/15...1/10 часть длины;
- $h = (25 \dots 50)t$ - толщина стенки составного сечения составляет 1/50...1/25 часть высоты.

Задача решается в определенной последовательности

- Определение минимально-допустимого радиуса инерции составного сечения

$$\lambda = l_{ef} / i_{\min} = \mu l / i_{\min} \leq [\lambda]$$

$$i_{\min} [\lambda] = 0,7 \cdot 2400 / 150 = 11,20 \text{ см} = \mu l$$

- Определение требуемой площади составного сечения

$$N / (\varphi A R_y) = 1; A_{\text{треб}} = N / (\varphi R_y)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 150 \sqrt{2100 / 2100000} = 4,74 - \text{условная гибкость при } \lambda =$$

$$[\lambda] \varphi_{\min} = \left[\bar{\lambda}^2 (51 - \bar{\lambda}) \right] = 332 / [4,74 (51 - 4,74)] = 0,319332 /$$

$$A_{\text{треб}} = 60000 / (0,319 \cdot 2100) = 89,6 \text{ см}^2$$

- Определение требуемого момента инерции составного

$$\text{сечения } i_x = \sqrt{I_x / A}; I_{x, \text{треб}} = A_{\text{треб}} i_{\min}^2 = 89,6 \cdot 11,20^2 = 11239 \text{ см}^4$$

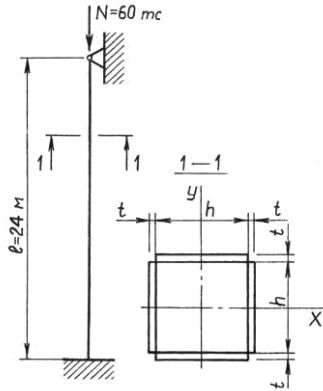


Рис. 11

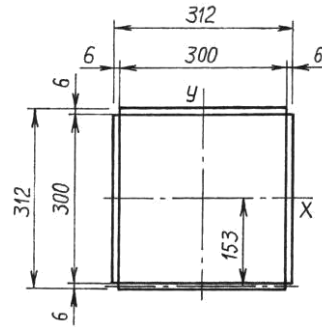


Рис. 12

4. Подбор составного сечения (рис.12)

$$h \leq l / (15 \dots 10) = 2400 / (15 \dots 10) = 160 \dots 240 \text{ см}$$

$$h = (2,5 \dots 3) \sqrt[4]{I_{x, \text{треб}}} - \text{см. пример 1 при } h=b$$

$$h = (2,5 \dots 3,0) \sqrt[4]{11239} = 25,7 \dots 30,9 \text{ см}$$

$$) 4 \cdot 6 \times 300$$

$$A = 4 \cdot 0,6 \cdot 30 = 72,0 \text{ см}^2 ; \quad 0,7850 \cdot 72,0 = 56,52 \text{ кг / м}$$

$$I_x = I_y = 2(I_{xв} + I_{xг} + A r a_2) =$$

$$= 2(0,6 \cdot 30^3 / 12 + 30 \cdot 0,6^3 / 12 + 0,6 \cdot 30 \cdot 15,3^2) = 11128 \text{ см}^4$$

$$i_x = i_y = \sqrt{11128 / 72,0} = 12,43 \text{ см} > i_{\min} = 11,20 \text{ см}$$

5. Проверка устойчивости

$$\lambda = \mu l / i_x = 0,7 \cdot 2400 / 12,43 = 135 < [\lambda] = 150$$

$$\bar{\lambda} = 135 \sqrt{2100 / 2100000} = 4,27$$

$$\varphi = 1,46 - 0,34 \cdot 4,27 + 0,021 \cdot 4,27^2 = 0,394 > \varphi_{\min} = 0,319$$

$$N / (\varphi A R_y) = 60000 / (0,394 \cdot 72,0 \cdot 2100) = 1,0149 \approx 1,015 < 1,03$$

Таблица 5

Состав сечения	$A, \text{ см}^2$	$I_x, \text{ см}^4$	$i_x, \text{ см}$	λ	$N / (\varphi A R_y)$	$\sigma = N / (\varphi A), \text{ кгс / см}^2$	кгс / м
4(-6x300)	72,0	11128	12,43	135	1,015	2131	56,52

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Марутян, А. С. (Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске). Расчет и экспериментальное проектирование стальных решетчатых прогонов из гнutosварных профилей : учеб. пособие / А.С. Марутян ; СКФУ, фил. в г. Пятигорске, Инженер. фак-т, Каф. ст-ва. - Пятигорск : ПФ СКФУ, 2014. - 116 с. - Прил.: с. 75-113. - Библиогр.: с. 72-74. - ISBN 978-5-905989-45-2
2. Парлашкевич В.С. Металлические конструкции, включая сварку. Часть 1. Производство, свойства и работа строительных сталей [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Парлашкевич В.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014.— 161 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/27040>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
3. Парлашкевич В.С. Проектирование и расчет металлических конструкций рабочих площадок [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Парлашкевич В.С., Василькин А.А., Булатов О.Е.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016.— 239 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/42909>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

Дополнительная литература:

1. Марутян, А. С. Проектирование стальных ферм покрытий из прямоугольных, ромбических и пятиугольных гнutosварных профилей : учеб.-справ. пособие / А.С. Марутян, С.И. Экба ; СКФУ. - Пятигорск : СКФУ, 2012. - 156 с. : ил. - Прил.: с. 114-154. - Библиогр.: с. 113-113. - ISBN 978-5-905989-08-7
2. Васильева, Т. В. Металлоконструкции : [учеб. пособие] / Т.В. Васильева. - М. : ИНФРА-М, 2011. - 336 с. : ил. - ISBN 978-5-98281-226-1

