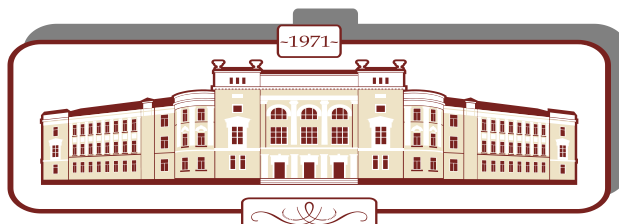


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра строительной механики

Куриленко Е.Ю. Огороднова Ю.В.



## **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ «ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ»**

для студентов специальности 270102 «Промышленное и гражданское  
строительство» всех форм обучения

Тюмень, 2010

УДК

ББК

Куриленко Е.Ю., Огороднова Ю.В. Сопротивление материалов. Методические указания к выполнению расчетно-проектировочной работы по теме «Геометрические характеристики плоских сечений» для студентов специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения. – Тюмень: РИО ГОУ ВПО ТюмГАСУ, 2010.—35с.

*Методические указания разработаны на основании рабочих программ ГОУ ВПО ТюмГАСУ дисциплины «Сопротивление материалов» для студентов специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения. Они содержат необходимые сведения по теории; примеры выполнения расчетно-проектировочной работы; варианты заданий, а также необходимые для выполнения заданий справочные материалы.*

Рецензент Кутрунова З.С.

Тираж 100 экз.

© ГОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»

© Куриленко Е.Ю., Огороднова Ю.В.

Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно - строительный университет»

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Основные определения	4
2 Основные теоремы и формулы	9
3 Геометрические характеристики простейших сечений	13
4 Вычисление геометрических характеристик составного сечения	15
4.1 Расчет несимметричного сечения	15
4.2 Расчет симметричного сечения	22
Приложение А. Расчетно-проектировочная работа «Геометрические характеристики плоских сечений»	28
Приложение Б. Геометрические характеристики простейших сечений	32
Приложение В. Сортамент прокатных сталей	35
Таблица В1. Сталь прокатная угловая равнополочная	35
Таблица В2. Сталь прокатная угловая неравнополочная	43
Таблица В3. Двутавры стальные горячекатаные	46
Таблица В4. Швеллеры стальные горячекатаные	49
Библиографический список	51

## ВВЕДЕНИЕ

Напряженно-деформированное состояние бруса зависит не только от внешней нагрузки, но также и от формы и размеров его поперечного сечения. Эту зависимость можно учесть, вводя так называемые геометрические характеристики поперечного сечения бруса. К ним относятся: площадь сечения, статические моменты, осевые и центробежные моменты инерции, моменты сопротивления, радиусы инерции и так далее.

### 1 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Рассмотрим произвольную плоскую фигуру (поперечное сечение стержня), покажем систему координат (рисунок 1). Обозначим через  $A$  площадь всей фигуры, через  $dA$ —элемент площади, вырезанный вокруг произвольной точки фигуры с координатами  $x, y$ .

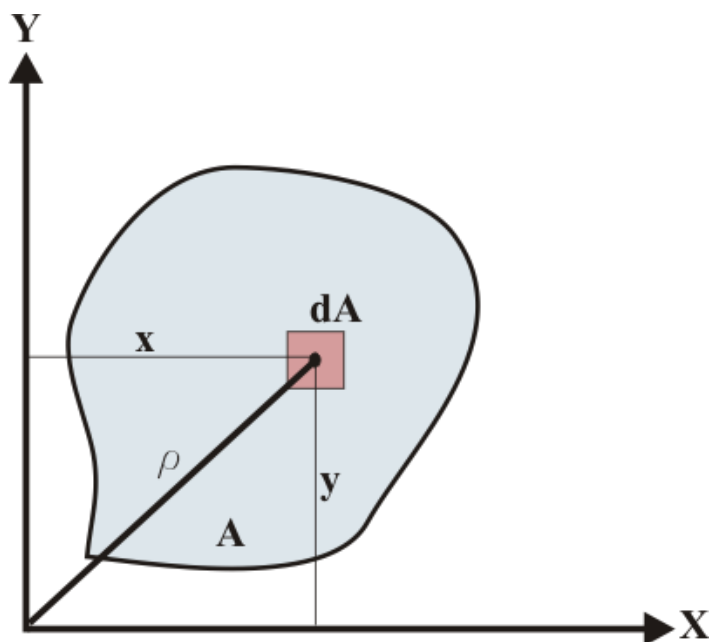


Рисунок 1

Статическими моментами  $S_x, S_y$  относительно осей  $X, Y$  соответственно называются выражения:

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

Размерность статических моментов:  $[cm^3, m^3, \dots]$ .

**Осевыми моментами инерции  $J_X, J_Y$  относительно осей X, Y соответственно называются выражения:**

$$J_X = \int_A y^2 dA; \quad J_Y = \int_A x^2 dA;$$

**Полярным моментом инерции  $J_P$  называется выражение:**

$$J_P = \int_A \rho^2 dA;$$

**Центробежным моментом инерции  $J_{XY}$  называется выражение:**

$$J_{XY} = \int_A xy dA;$$

Размерность осевых, полярного и центробежного моментов инерции:  $[\text{см}^4, \text{м}^4, \quad ]$ .

**Осевыми моментами сопротивления сечения  $W_X, W_Y$  относительно осей X, Y соответственно называются выражения:**

$$W_X = \frac{J_X}{|y_{\max}|} \quad W_Y = \frac{J_Y}{|x_{\max}|}.$$

Здесь  $|x_{\max}|; |y_{\max}|$  – расстояния от осей X, Y соответственно до наиболее удаленных точек сечения (рис.2).

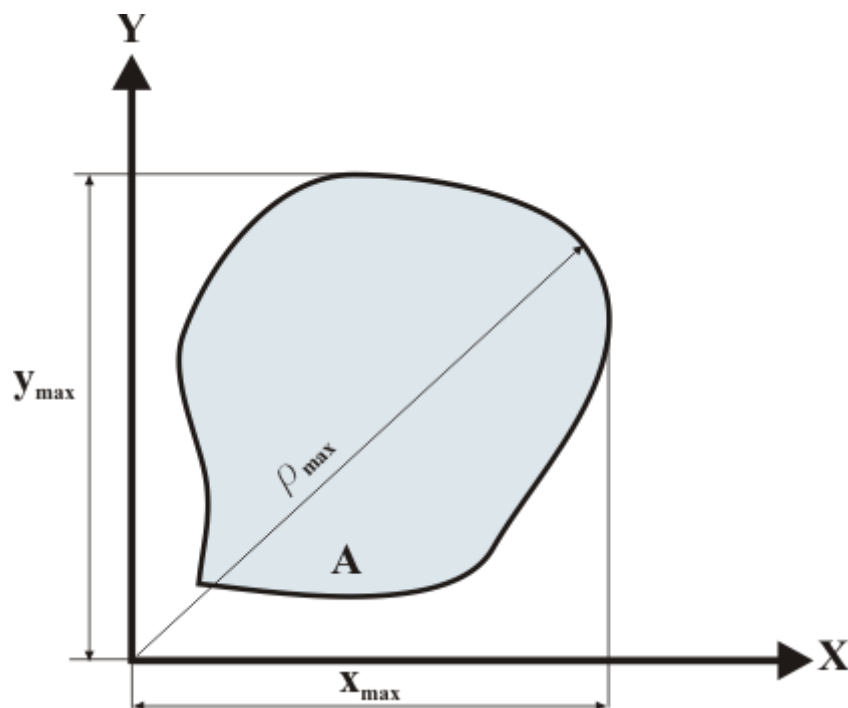


Рисунок 2

**Полярным моментом сопротивления сечения**  $W_P$  называется выражение:

$$W_P = \frac{J_P}{\rho_{\max}}$$

Здесь  $\rho_{\max}$  – расстояние от начала координат до наиболее удаленной точки сечения (рис.2).

Размерность моментов сопротивления: [см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>, ].

**Осевыми радиусами инерции сечения**  $i_X, i_Y$  относительно осей X, Y соответственно называются выражения:

$$i_X = \sqrt{\frac{J_X}{A}} \quad i_Y = \sqrt{\frac{J_Y}{A}} \dots$$

Размерность радиусов инерции: [см, м, ].

Как следует из приведенных определений, осевые и полярные моменты инерции и моменты сопротивления, а также радиусы инерции сечения могут принимать только положительные значения, а статические и центробежный моменты могут принимать положительные, отрицательные и нулевые значения. 6

Из определения геометрических характеристик также вытекает, что их величины существенно зависят от выбора системы координат. Вычисляя геометрические характеристики сечения относительно разных систем координат, мы будем получать и разные значения геометрических характеристик для одного и того же сечения бруса. Например, вычисляя  $W_x$  для разных систем  $-OXY$  и  $CX_1Y_1$  (рис.3), мы будем иметь разные значения  $y_{max}$ ,  $a$ , значит, и разные значения  $W_x$ .

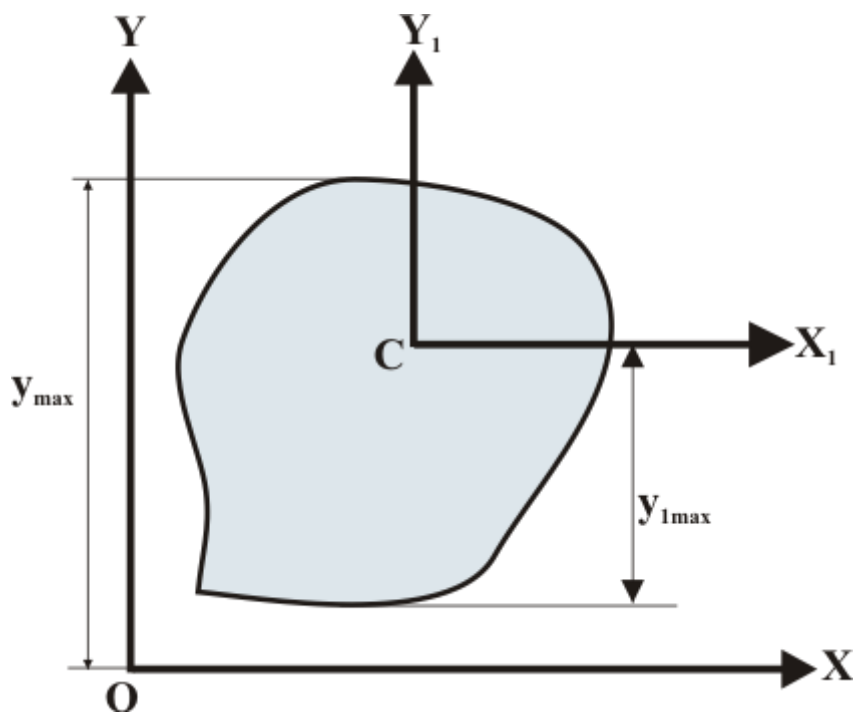


Рисунок 3

Действительно,

$$W_x = \frac{J_x}{|y_{max}|} \quad W_{x_1} = \frac{J_{x_1}}{|y_{1max}|} \quad W_x \neq W_{x_1}$$

Чтобы избавиться от такого произвола, необходимо систему координат связать с рассчитываемым сечением бруса. Сделать это можно следующим образом.

Начало координат поместим в центр тяжести сечения – т.С. Полученные таким образом оси  $CXY$ ,  $CX_1Y_1$ ,  $CX_2Y_2$ ,  $CX_3Y_3$  (рис.4) называются **центральными**.

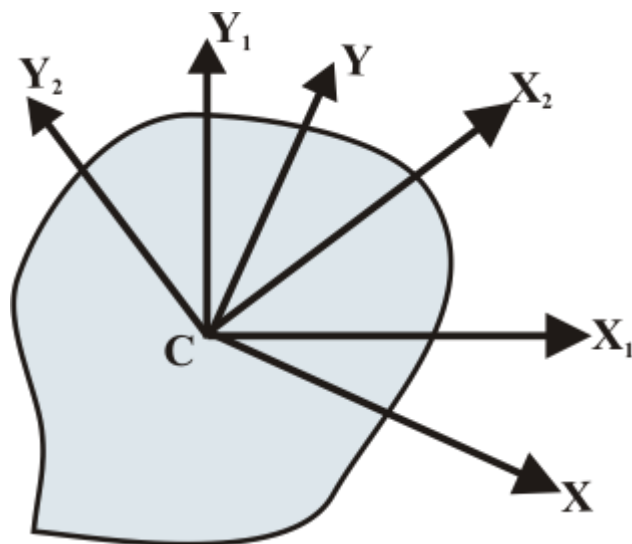


Рисунок 4

Геометрические характеристики сечения, в частности, осевые и центробежный моменты инерции, вычисленные относительно разных центральных осей  $CXY$ ,  $CX_1Y_1$ ,  $CX_2Y_2$ ,  $CX_3Y_3$  будут иметь, конечно, разные значения. Можно показать, что найдутся такие оси  $CXY$ , относительно которых центробежный момент инерции  $J_{xy}=0$ . Такая система называется **главной центральной системой координат**.

Осевые моменты  $J_x$ ,  $J_y$ , вычисленные относительно главной центральной системы координат, называются **главными центральными моментами инерции**. Они обладают свойством экстремальности: относительно одной из главных осей момент инерции максимален, а относительно другой – минимален.

$$J_{\max} = J_x > J_y, J_{y_1}, J_{y_2}, J_{x_1}, J_{x_2}, \dots$$

$$J_{\min} = J_y < J_x, J_{y_1}, J_{y_2}, J_{x_1}, J_{x_2}, \dots$$

Геометрические характеристики поперечного сечения бруса, входящие во все основные формулы сопротивления материалов, всегда определяются относительно главных центральных осей.



## 2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕМЫ И ФОРМУЛЫ

Для определения положения главных центральных осей и вычисления геометрических характеристик необходимо будет использовать некоторые теоремы и формулы, которые приведены без доказательств и выводов.

2.1 Определение положения центра тяжести сечения.

$$x_C = \frac{S_Y}{A} = \frac{\sum x_i A_i}{A}; y_C = \frac{S_X}{A} = \frac{\sum y_i A_i}{A}; \quad (1)$$

С помощью формул (1) можно определять величину статических моментов:

$$S_x = y_C A; S_y = x_C A. \quad (2)$$

Из (2) следует, что **статический момент сечения относительно любой центральной оси равен нулю.**

2.2 Пусть сечение имеет ось симметрии и одна из координатных осей, например, ось Y, совпадает с ней (рис.5).

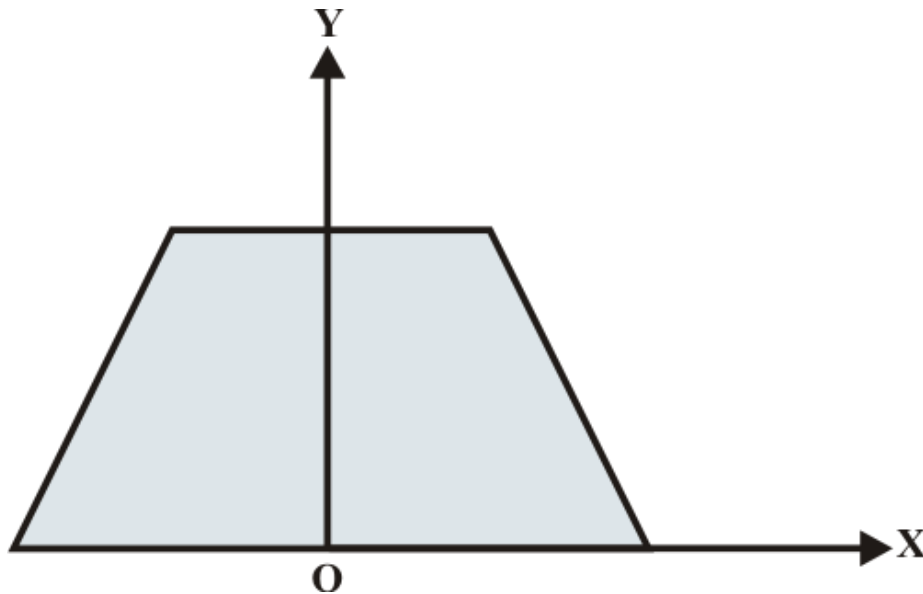


Рисунок 5

Можно показать, что тогда  $J_{xy}=0$ . Таким образом, **если сечение имеет ось симметрии, то эта ось и ось, ей перпендикулярная, образуют главную систему координат.**

2.3 Если сечение имеет больше двух осей симметрии, то все центральные оси такого сечения – главные и все главные центральные моменты инерции равны между собой. К таким сечениям относятся круг, квадрат, другие правильные многоугольники (рис.6).

$$J_x = J_y = J_{y_1} = J_{y_2} = J_{x_1} = J_{x_2}$$

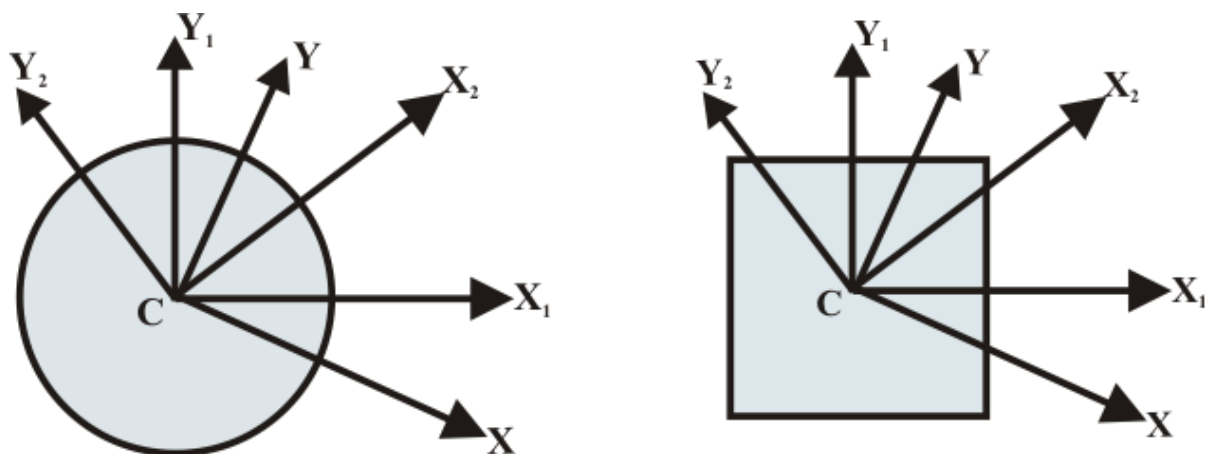


Рисунок 6

#### 2.4 Теорема о параллельном переносе осей.

Пусть известны моменты инерции сечения относительно центральных осей  $SX_cY_c$ , то есть  $J_{Y_c}$ ,  $J_{X_c}$ ,  $J_{X_cY_c}$  – заданы (рис.7).

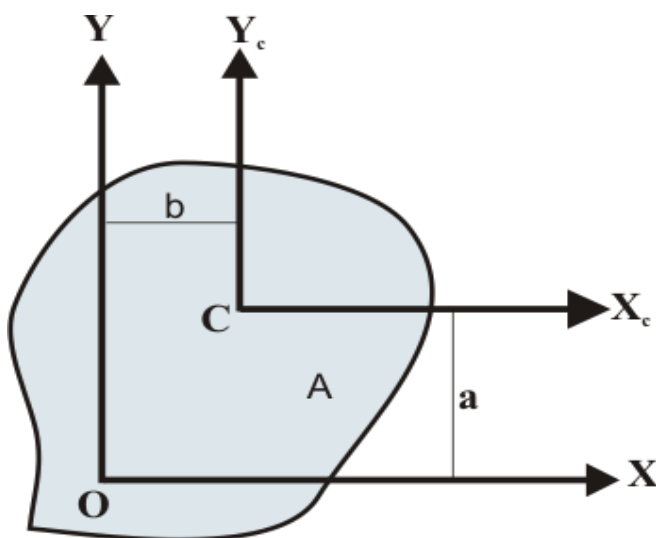


Рисунок 7

Рассмотрим еще одну систему координат  $OXY$ .

Тогда моменты инерции относительно осей, параллельных центральным, определятся по формулам:

$$\begin{aligned} J_X &= J_{X_c} + a^2 \cdot A \\ J_Y &= J_{Y_c} + b^2 \cdot A; \\ J_{XY} &= J_{X_cY_c} + a \cdot b \cdot A; \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $a, b$  – координаты точки  $O$  в системе  $SX_cY_c$ . Из выражений (3) следует, что относительно любой нецентральной оси осевой момент инерции больше, чем относительно центральной.

### 2.5 Теорема о повороте осей.

Пусть известны моменты инерции сечения относительно центральных осей  $OX_1Y_1$ , то есть  $J_{Y_1}$ ,  $J_{X_1}$ ,  $J_{X_1Y_1}$  – заданы (рис.8).

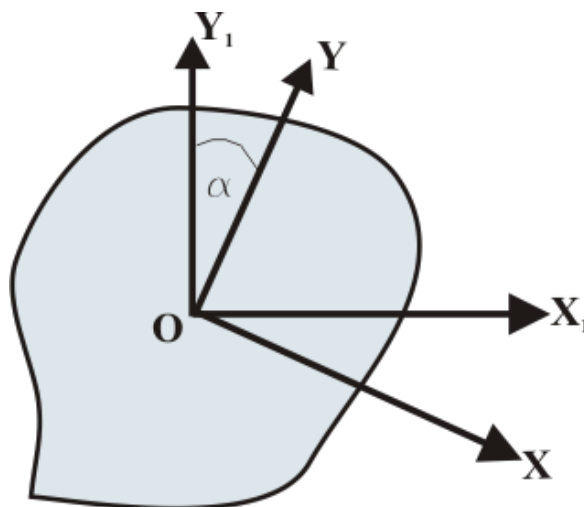


Рисунок 8

Тогда моменты инерции относительно осей, повернутых на угол  $\alpha$ , определяются по формулам:

$$\begin{aligned} J_X &= J_{X_1} \cos^2 \alpha + J_{Y_1} \sin^2 \alpha - J_{X_1Y_1} \cos 2\alpha; \\ J_Y &= J_{Y_1} \cos^2 \alpha + J_{X_1} \sin^2 \alpha + J_{X_1Y_1} \cos 2\alpha; \\ J_{XY} &= J_{X_1Y_1} \cos 2\alpha - \frac{J_{Y_1} - J_{X_1}}{2} \sin 2\alpha. \end{aligned} \quad (4)$$

2.6 Пусть оси  $OXY$  – главные. Тогда  $J_{XY}=0$  и из последней из формул (4) следует

$$J_{XY} = J_{X_1Y_1} \cos 2\alpha - \frac{J_{Y_1} - J_{X_1}}{2} \sin 2\alpha = 0.$$

Тогда

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2J_{X_1Y_1}}{J_{Y_1} - J_{X_1}}. \quad (5)$$

Эта формула используется для определения положения главных осей  $OXY$  относительно произвольных осей  $OX_1Y_1$ . Положительный угол  $\alpha$  откладывается против хода часовой стрелки. Если при этом  $J_{X_1Y_1} < 0$ , то ось, относительно которой момент инерции максимален, проходит через первую и третью четверти системы координат, а если  $J_{X_1Y_1} > 0$  – через вторую и четвертую.

2.7 Величины главных центральных моментов инерции сечения определяются по формуле:

$$J_X, J_Y = J_{\max}, J_{\min} = \frac{J_{X_1} + J_{Y_1}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{J_{X_1} - J_{Y_1}}{2}\right)^2 + J_{X_1 Y_1}^2} \quad (6)$$

2.8 Теорема о сложении моментов инерции.

При вычислении моментов инерции сложной фигуры относительно какой-либо оси нужно последнюю разбить на ряд простейших фигур и для каждой вычислить момент инерции относительно этой оси (рис.9).

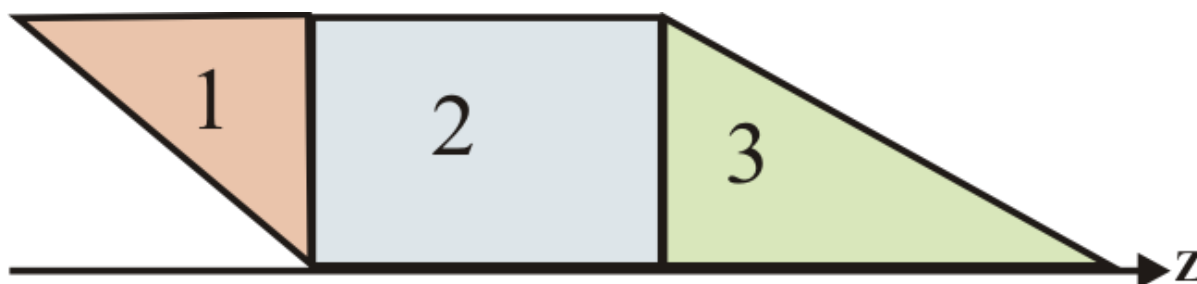


Рисунок 9

Тогда момент инерции всей фигуры определяется как сумма моментов инерции составных частей:

$$J_Z = J_Z^{(1)} + J_Z^{(2)} + J_Z^{(3)} \quad (7)$$

Суммировать моменты инерции частей фигуры относительно разных осей нельзя.

Эта теорема справедлива только для статических, осевых и центробежного моментов, но ее ни в коем случае нельзя применять для моментов сопротивления и радиусов инерции сечения.

### 3 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТЕЙШИХ СЕЧЕНИЙ

В приложении Б, в таблице Б1, приведены геометрические характеристики простых сечений, имеющих форму геометрических фигур – круг, полукруг, кольцо, прямоугольник, равнобедренный и прямоугольный треугольники. Кроме этих фигур, в сопротивлении материалов часто приходится иметь дело с профилями стандартного проката – равнополочными уголками (рис. 10а), неравнополочными уголками (рис. 10б), швеллерами (рис.10в), двутаврами (рис.10г).

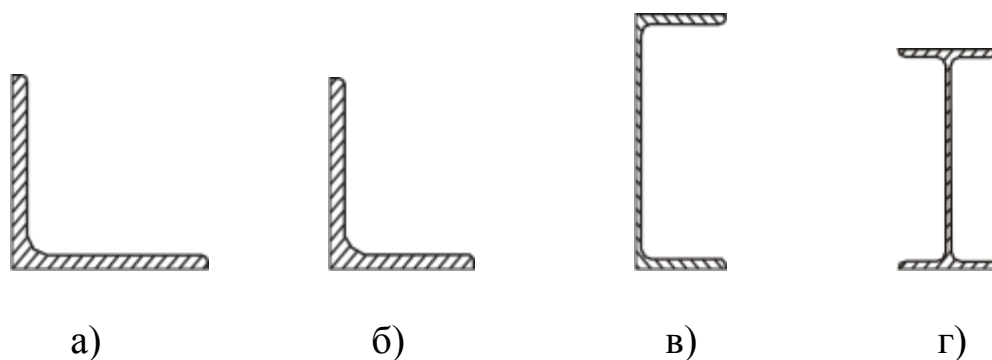


Рисунок 10

Все размеры этих профилей, в зависимости от их номера, и все геометрические характеристики их приводятся в специальных таблицах ГОСТа, называемых сортаментом. Они приведены в приложении В (таблицы В1-В4).

При пользовании сортаментом полезно помнить следующее правило, вытекающее из определения момента инерции: **момент инерции относительно оси, параллельной длинной стороне сечения, всегда меньше момента инерции относительно оси, параллельной короткой стороне.**

Центробежные моменты инерции уголков даны в сортаменте по модулю. Определить их действительный знак при расчете сечения удобно с помощью следующего приема. Проведем оси, совпадающие со сторонами уголка. Знак центробежного момента будет зависеть от того, в какой четверти относительно этих осей находится уголок (рис.11).

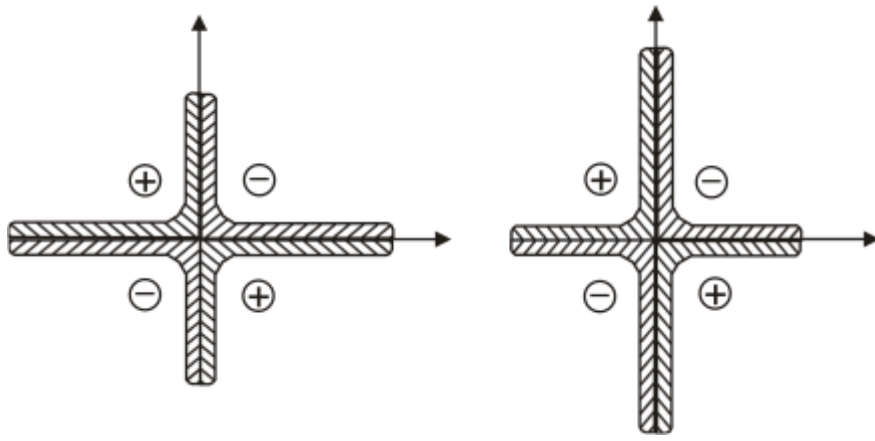


Рисунок 11

## 4 ВЫЧИСЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ

### 4.1 РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОГО СЕЧЕНИЯ.

Для изображенного на рисунке 12 сечения требуется определить главные центральные моменты инерции.

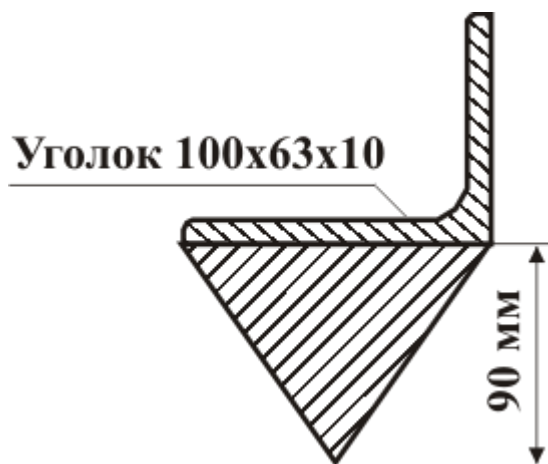
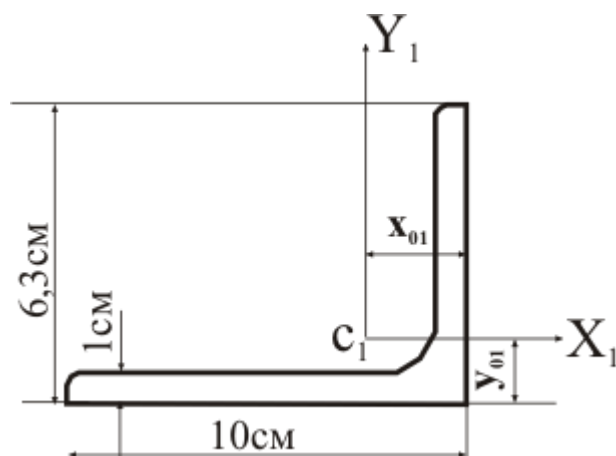


Рисунок 12

Решение.

1). Сечение, изображенное на рисунке 12, является сложным, составленным из двух простейших фигур: неравнополочного уголка и равнобедренного треугольника. Выпишем из справочника геометрические характеристики этих фигур относительно их собственных центральных осей.

Уголок неравнополочный 100x63x10.



Из сортамента (приложение В, таблица В2):

Площадь уголка  $A_1=15,5\text{см}^2$ .

Расстояния от полки и стенки уголка до центра тяжести т.С<sub>1</sub>:

$x_{01}$  (в сортаменте  $y_0$ )=3,4см;

$y_{01}$  (в сортаменте  $x_0$ )=1,58см.

Осевые моменты инерции уголка:  $J_{X_1}^C$  (в сортаменте  $J_Y$ )=47,1 см<sup>4</sup>;

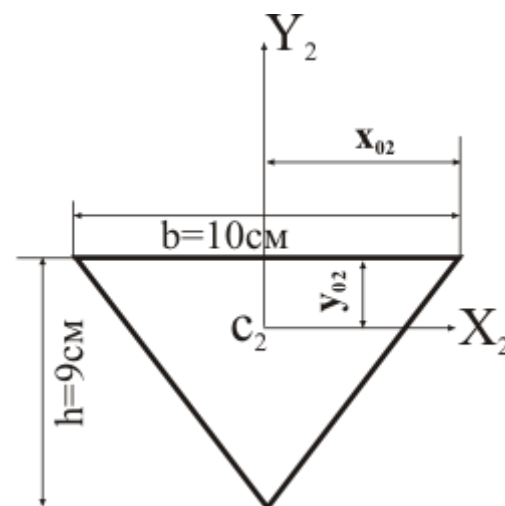
$J_{Y_1}^C$  (в сортаменте  $J_X$ )=154 см<sup>4</sup>.

Ось  $Y_1$  параллельна короткой стороне уголка, поэтому  $J_{Y_1}>J_{X_1}$ .

Центробежный момент инерции уголка:  $J_{X_1Y_1}^C = 48,6\text{см}^4$ .

Знак центробежного момента выбран в соответствии с рисунком 11.

Треугольник равнобедренный.



Из таблицы Б1:

Площадь  $A_2 = \frac{bh}{2} = \frac{9 \cdot 10}{2} = 45\text{см}^2$ ;

Положение центра тяжести т.С<sub>2</sub> характеризуется отрезками:

$x_{02} = 5\text{см}$ ;

$y_{02} = h/3 = 9/3 = 3\text{см}$ .

Осевые моменты инерции:  $J_{X_2}^C = \frac{bh^3}{36} = \frac{10 \cdot 9^3}{36} = 202,5\text{см}^4$

$J_{Y_2}^C = \frac{b^3h}{48} = \frac{10^3 \cdot 9}{48} = 187,5\text{см}^4$



Центробежный момент инерции треугольника  $J_{x_2y_2}=0$ , так как система координат  $Ox_2Y_2$  является главной системой координат треугольника.

2). Изобразим сечение в масштабе (рис.13).

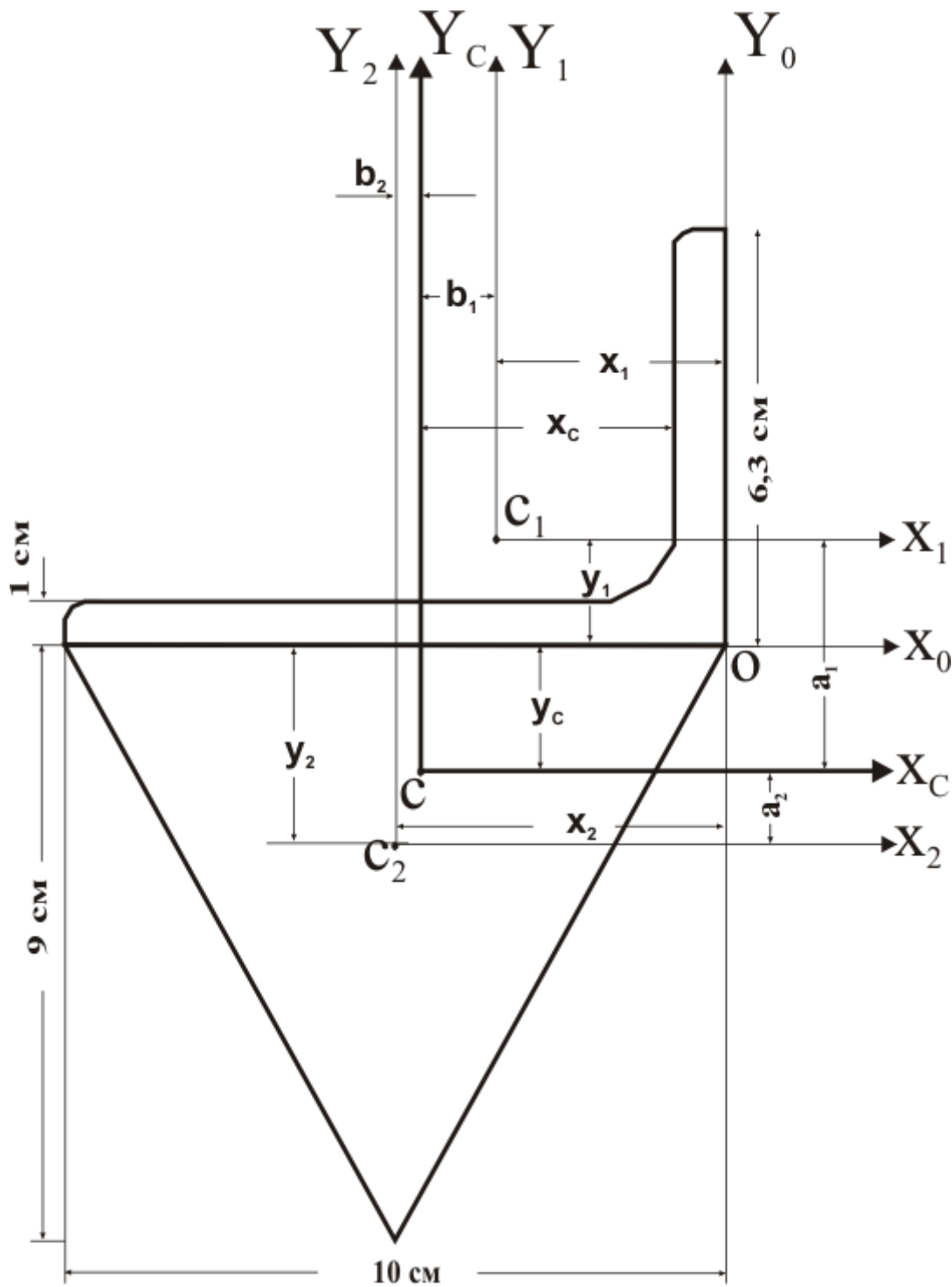


Рисунок 13

3). Выберем произвольную вспомогательную систему координат  $Ox_0y_0$  и найдем координаты  $x_c, y_c$  центра тяжести сечения т.С относительно этой системы.

Выпишем сначала координаты точек  $C_1$  и  $C_2$  относительно осей  $Ox_0y_0$ , используя чертеж на рисунке 13 и данные 1-го пункта решения:

$$т.С_1(x_1=-x_{01}=-3,4\text{см}; y_1=y_{01}=1,58\text{см});$$

$$т.С_2(x_2=-x_{02}=-5\text{см}; y_2=-y_{02}=-3\text{см}).$$

Найдем общую площадь сечения

$$A=A_1+A_2=15,5+45=60,5\text{см}^2.$$

По формулам (1):

$$x_c = \frac{S_Y}{A} = \frac{\sum x_i A_i}{A} = \frac{x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2}{A} = \frac{-3,4 \cdot 15,5 - 5 \cdot 45}{60,5} = \underline{-4,59\text{см}};$$

$$y_c = \frac{S_X}{A} = \frac{\sum y_i A_i}{A} = \frac{y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2}{A} = \frac{1,58 \cdot 15,5 - 3 \cdot 45}{60,5} = \underline{-1,83\text{см}}.$$

Нанесем на чертеж точку  $C(x_c, y_c)$  и проведем через нее центральные оси  $Sx_cy_c$ , параллельные вспомогательным осям  $Ox_0y_0$ .

Выпишем теперь координаты точек  $C_1$  и  $C_2$  —  $a_i, b_i$  — относительно новых осей  $Sx_cy_c$ .

$$\text{Из рисунка 13: } a_1=y_1-y_c=1,58-(-1,83)=3,41\text{см};$$

$$b_1=x_1-x_c=-3,4-(-4,59)=1,19\text{см};$$

$$a_2=y_2-y_c=-3-(-1,83)=-1,17\text{см};$$

$$b_2=x_2-x_c=-5-(-4,59)=-0,41\text{см}.$$

Проверим правильность определения положения центра тяжести сечения. Так как статический момент сечения относительно любой центральной оси должен быть равен нулю, то, используя формулы (2), получим:

$$S_{x_c} = a_1 \cdot A_1 + a_2 \cdot A_2 = 3,41 \cdot 15,5 + (-1,17) \cdot 45 = 0,205 \approx 0;$$

$$S_{y_c} = b_1 \cdot A_1 + b_2 \cdot A_2 = 1,19 \cdot 15,5 + (-0,41) \cdot 45 = -0,005 \approx 0.$$

Отсюда следует, что оси  $x_c, y_c$  действительно являются центральными, то есть положение центра тяжести найдено правильно.

4). Найдем центральные моменты инерции  $J_{x_c}, J_{y_c}, J_{x_c y_c}$ .

Согласно соотношению (7), для составного сечения:

$$\begin{aligned} J_{X_C} &= J_{X_C}^{\square} + J_{X_C}^{\triangle}, \\ J_{Y_C} &= J_{Y_C}^{\square} + J_{Y_C}^{\triangle}, \\ J_{X_C Y_C} &= J_{X_C Y_C}^{\square} + J_{X_C Y_C}^{\triangle}. \end{aligned} \quad (8)$$

Найдем сначала моменты инерции для уголка (фигура 1). Так как оси  $SX_C Y_C$  параллельны осям  $S_1 X_1 Y_1$ , а относительно этих осей моменты инерции известны (см. 1-й пункт решения), то применяем формулы (3):

$$\begin{aligned} J_{X_C}^{\square} &= J_{X_1}^{\square} + a_1^2 \cdot A_1 = 47,1 + 3,41^2 \cdot 15,5 = 227,3 \text{ см}^4; \\ J_{Y_C}^{\square} &= J_{Y_1}^{\square} + b_1^2 \cdot A_1 = 154 + 1,19^2 \cdot 15,5 = 175,9 \text{ см}^4; \\ J_{X_C Y_C}^{\square} &= J_{X_1 Y_1}^{\square} + a_1 \cdot b_1 \cdot A_1 = 48,6 + 3,41 \cdot 1,19 \cdot 15,5 = 111,5 \text{ см}^4; \end{aligned} \quad (9)$$

Аналогично для второй фигуры (треугольника), получим:

$$\begin{aligned} J_{X_C}^{\triangle} &= J_{X_2}^{\triangle} + a_2^2 \cdot A_2 = 202,5 + (-1,17)^2 \cdot 45 = 264,1 \text{ см}^4; \\ J_{Y_C}^{\triangle} &= J_{Y_2}^{\triangle} + b_2^2 \cdot A_2 = 187,5 + (-0,41)^2 \cdot 45 = 195,1 \text{ см}^4; \\ J_{X_C Y_C}^{\triangle} &= J_{X_2 Y_2}^{\triangle} + a_2 \cdot b_2 \cdot A_2 = 0 + (-1,17) \cdot (-0,41) \cdot 45 = 21,6 \text{ см}^4 \end{aligned} \quad (10)$$

Подставим (9) и (10) в (8):

$$\begin{aligned} J_{X_C} &= J_{X_C}^{\square} + J_{X_C}^{\triangle} = 227,3 + 264,1 = \underline{491,4 \text{ см}^4}; \\ J_{Y_C} &= J_{Y_C}^{\square} + J_{Y_C}^{\triangle} = 175,9 + 195,1 = \underline{371 \text{ см}^4}; \\ J_{X_C Y_C} &= J_{X_C Y_C}^{\square} + J_{X_C Y_C}^{\triangle} = 111,5 + 21,6 = \underline{133,1 \text{ см}^4}. \end{aligned} \quad (11)$$

5). Найдем положение главных центральных осей  $SXY$ . Для этого используем формулу (5):

$$\text{tg}2\alpha = \frac{2J_{X_C Y_C}}{J_{Y_C} - J_{X_C}} = \frac{2 \cdot 133,1}{371 - 491,4} = -2,211;$$

$$\underline{\angle \alpha = -33^{\circ}}.$$

Угол  $\alpha$  меньше нуля, поэтому откладываем его от оси  $SX_C$  по часовой стрелке и проводим главные центральные оси  $SXY$  (рис.14).

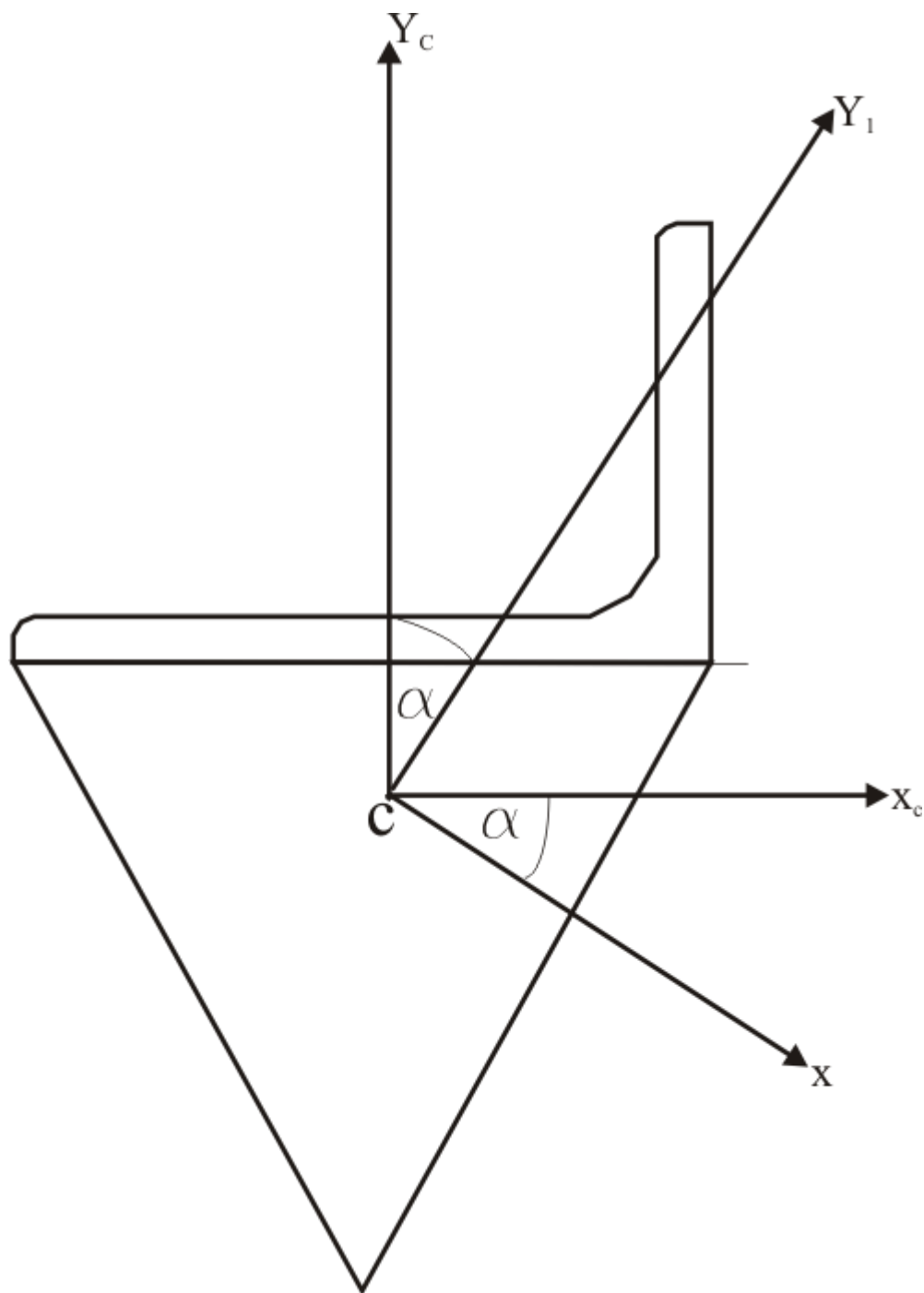


Рисунок 14

6). Найдём главные центральные моменты инерции  $J_x, J_y$ . Для этого используем формулу (6):

$$J_x, J_y = \frac{J_{Xc} + J_{Yc}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{J_{Xc} - J_{Yc}}{2}\right)^2 + J_{XcYc}^2} = \frac{491,4 + 371}{2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\left(\frac{491,4 - 371}{2}\right)^2 + 133,1^2} = 431,2 \pm 146,1.$$

Отсюда получаем:

$$J_{\max} = 431,2 + 146,1 = \underline{577,3\text{см}^4};$$

$$J_{\min} = 431,2 - 146,1 = \underline{285,1\text{см}^4}.$$

Поскольку для данного сечения  $J_{x_1y_1} > 0$ , то ось, относительно которой момент инерции максимален проходит через вторую и четвертую четверти системы координат  $SX_C Y_C$ , то есть

$$J_{\max} = J_X = \underline{577,3\text{см}^4};$$

$$J_{\min} = J_Y = \underline{285,1\text{см}^4}.$$

Проверка.

Найдем главные центральные моменты инерции по формулам (4), полагая в них  $\alpha = -33^\circ$ :

$$J_X = J_{X_C} \cos^2(33^\circ) + J_{Y_C} \sin^2(33^\circ) + J_{X_C Y_C} \sin(66^\circ) = 491,4 \cdot 0,706 + 371 \cdot 0,294 + 133,1 \cdot 0,911 = 577,26 \approx 577,3\text{см}^4;$$

$$J_Y = J_{Y_C} \cos^2(33^\circ) + J_{X_C} \sin^2(33^\circ) - J_{X_C Y_C} \sin(66^\circ) = 371 \cdot 0,706 + 491,4 \cdot 0,294 - 133,1 \cdot 0,911 = 285,14 \approx 285,1\text{см}^4;$$

$$J_{XY} = J_{X_C Y_C} \cos(66^\circ) - \frac{J_{Y_C} - J_{X_C}}{2} \sin(66^\circ) = 133,1 \cdot 0,412 + \frac{371 - 491,4}{2} \cdot 0,911 = 0,05 \approx 0.$$

Задача решена.

## 4.2 РАСЧЕТ СИММЕТРИЧНОГО СЕЧЕНИЯ.

Для изображенного на рисунке 15 сечения определить:

- 1) главные центральные моменты инерции сечения;
- 2) главные центральные моменты сопротивления сечения;
- 3) главные центральные радиусы инерции сечения.

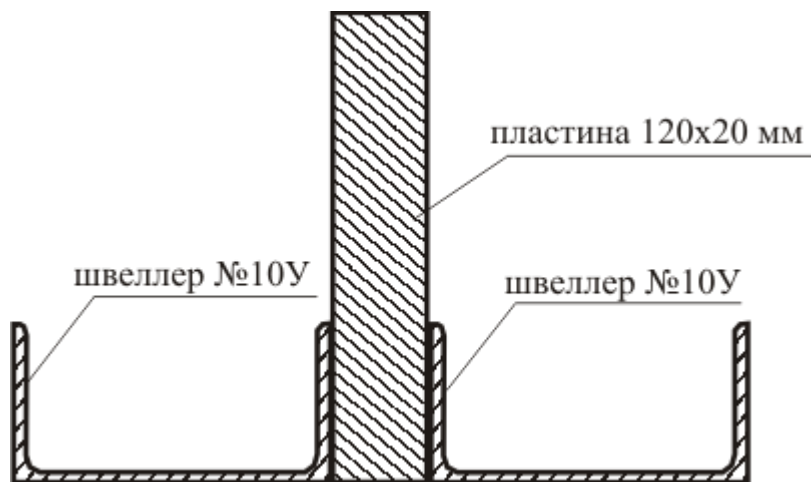
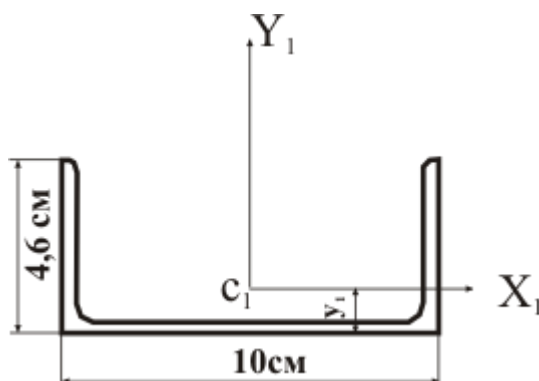


Рисунок 15

Решение.

1). Сечение, изображенное на рисунке 15, является сложным, составленным из двух простейших фигур: швеллера и прямоугольника. Выпишем из справочника геометрические характеристики этих фигур относительно их собственных центральных осей.

Швеллер №10У.



Из сортамента (приложение В, таблица В4):

Площадь швеллера  $A_1=10,9\text{см}^2$ .

Расстояния от стенки швеллера до центра тяжести т.С<sub>1</sub>:

$y_1$  (в сортаменте  $z_0$ )= $1,44\text{см}$ .

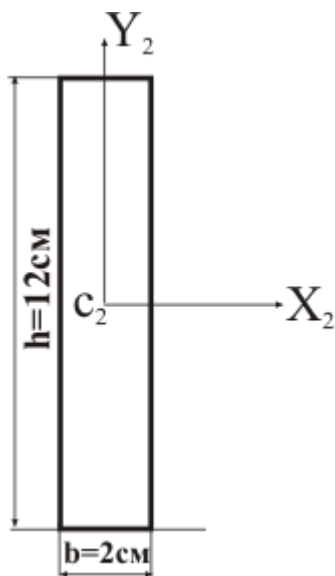
Осевые моменты инерции швеллера:  $J_{X_1}^C$  (в сортаменте  $J_Y$ )= $174\text{ см}^4$ ;

$J_{Y_1}^C$  (в сортаменте  $J_X$ )= $20,4\text{ см}^4$ .

Ось  $Y_1$  параллельна короткой стороне швеллера, поэтому  $J_{Y_1}>J_{X_1}$ .

Центробежный момент инерции швеллера  $J_{X_1Y_1}=0$ , так как система координат  $OX_1Y_1$  является главной системой координат швеллера.

Прямоугольник.



Из таблицы Б1:

Площадь  $A_2 = bh = 12 \cdot 2 = 24\text{см}^2$ ;

Осевые моменты инерции:  $J_{X_2}^C = \frac{bh^3}{12} = \frac{2 \cdot 12^3}{12} = 288\text{см}^4$

$J_{Y_2}^C = \frac{b^3h}{12} = \frac{2^3 \cdot 12}{12} = 8\text{см}^4$ .

Центробежный момент инерции прямоугольника  $J_{X_2Y_2}=0$ , так как система координат  $OX_2Y_2$  является главной системой координат прямоугольника.

2). Изобразим сечение в масштабе (рис.16).

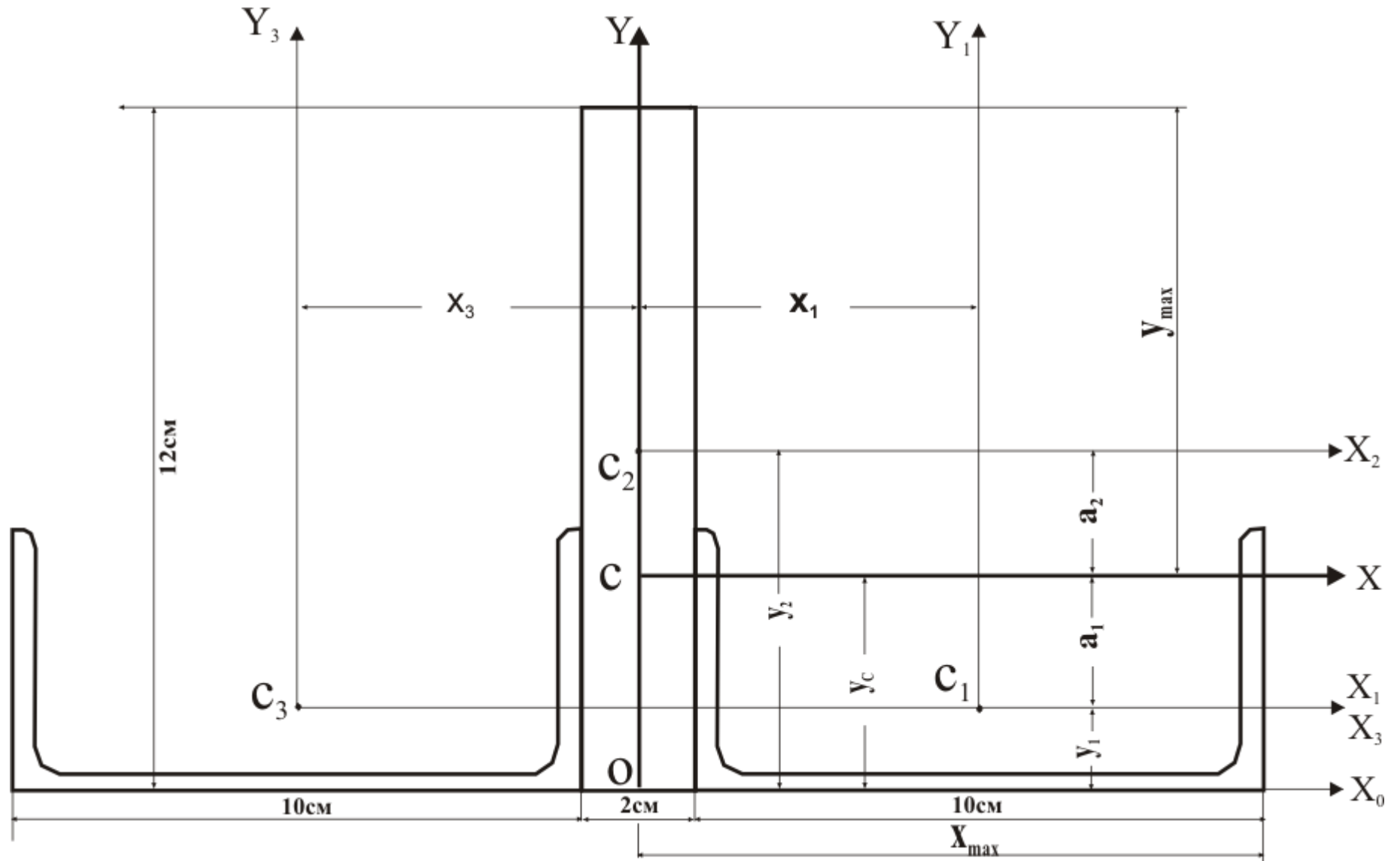


Рисунок 16



3). Выберем произвольную вспомогательную систему координат  $Ox_0y$  и найдем координаты центра тяжести сечения т.С относительно этой системы. Так как из чертежа очевидно, что т.С будет лежать на оси  $Y$ , то достаточно найти лишь координату  $y_c$ .

Выпишем сначала координаты точек  $C_1, C_2, C_3$  относительно осей  $Ox_0y$ , используя чертеж на рисунке 16 и данные 1-го пункта решения:

$$т.С_1(x_1=1+5=6\text{см}; y_1=1,44\text{см});$$

$$т.С_2(x_2=0; y_2=6\text{см}).$$

$$т.С_3(x_3=-x_1=-6\text{см}; y_3=1,44\text{см});$$

Найдем общую площадь сечения

$$A=A_1+A_2+A_3=10,9 \times 2 + 24 = 45,8 \text{ см}^2.$$

По формулам (1):

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum y_i A_i}{A} = \frac{y_1 \cdot A_1 \cdot 2 + y_2 \cdot A_2}{A} = \frac{1,44 \cdot 10,9 \cdot 2 + 6 \cdot 24}{45,8} = \underline{\underline{3,83 \text{ см}}};$$

Нанесем на чертеж т.С(0,  $y_c$ ) и проведем через нее центральную ось  $SX$ , параллельную вспомогательной оси  $Ox_0$ .

Выпишем теперь координаты точек  $C_1, C_2, C_3$  относительно новой оси  $SX$ .

$$\begin{aligned} \text{Из рисунка 16: } a_1 &= y_1 - y_c = 1,44 - (3,83) = -2,39 \text{ см}; \\ a_2 &= y_2 - y_c = 6 - (3,83) = 2,17 \text{ см}; \\ a_3 &= y_3 - y_c = 1,44 - (3,83) = -2,39 \text{ см}; \end{aligned}$$

Проверим правильность определения положения центра тяжести сечения. Так как статический момент сечения относительно любой центральной оси должен быть равен нулю, то, используя формулы (2), получим:

$$S_x = a_1 \cdot A_1 \cdot 2 + a_2 \cdot A_2 = (-2,39) \cdot 10,9 \cdot 2 + 2,17 \cdot 24 = -0,02 \approx 0.$$

Отсюда следует, что оси  $X, Y$  действительно являются центральными, то есть положение центра тяжести найдено правильно. Так как ось  $SU$  совпадает с осью симметрии сечения, то, на основании пункта 2.2, система  $SXY$  будет главной центральной системой координат сечения.

4). Найдем главные центральные моменты инерции  $J_X, J_Y$ .

Согласно соотношению (7), для составного сечения:

$$\begin{aligned} J_X &= J_X^O + J_X^{\ominus} + J_X^{\ominus}; \\ J_Y &= J_Y^O + J_Y^{\ominus} + J_Y^{\ominus}. \end{aligned} \quad (12)$$

Найдем сначала моменты инерции для швеллера (фигура 1). Так как оси  $SXY$  параллельны осям  $S_1X_1Y_1$ , а относительно этих осей моменты инерции известны (см. 1-й пункт решения), то применяем формулы (3):

$$J_X^O = J_{X_1}^O + a_1^2 \cdot A_1 = 20,4 + (-2,39)^2 \cdot 10,9 = 82,7 \text{ см}^4;$$

$$J_Y^O = J_{Y_1}^O + x_1^2 \cdot A_1 = 174 + 6^2 \cdot 10,9 = 566,4 \text{ см}^4.$$

Для второй фигуры (прямоугольника), получим:

$$J_X^{\ominus} = J_{X_2}^{\ominus} + a_2^2 \cdot A_2 = 288 + (2,17)^2 \cdot 24 = 401 \text{ см}^4;$$

$$J_Y^{\ominus} = 8 \text{ см}^4.$$

Очевидно, что

$$J_X^{\ominus} = J_X^O = 82,7 \text{ см}^4;$$

$$J_Y^{\ominus} = J_Y^O = 566,4 \text{ см}^4.$$

Подставляем найденные значения в (12):

$$J_X = J_X^O \cdot 2 + J_X^{\ominus} = 82,2 \cdot 2 + 401 = \underline{565,4 \text{ см}^4};$$

$$J_Y = J_Y^O \cdot 2 + J_Y^{\ominus} = 566,4 \cdot 2 + 8 = \underline{1140,8 \text{ см}^4}.$$

5). Найдем главные центральные моменты сопротивления  $W_X, W_Y$ .

Из определения моментов сопротивления сечения

$$W_X = \frac{J_X}{|y_{\max}|}; \quad W_Y = \frac{J_Y}{|x_{\max}|}.$$

Из чертежа (рис.16) найдем

$$|x_{\max}| = 10 + 1 = 11 \text{ см.}$$

$$|y_{\max}| = 12 - y_c = 12 - 3,83 = 8,17 \text{ см.}$$

$$W_x = \frac{J_x}{|y_{\max}|} = \frac{565,4}{8,17} = \underline{69,2 \text{ см}^3};$$

$$W_y = \frac{J_y}{|x_{\max}|} = \frac{1140,8}{11} = \underline{103,7 \text{ см}^3}.$$

б). Найдем главные центральные радиусы инерции  $i_x, i_y$ .

Из определения радиусов инерции сечения

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = \sqrt{\frac{565,4}{45,8}} = \underline{3,51 \text{ см}};$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = \sqrt{\frac{1140,8}{45,8}} = \underline{4,99 \text{ см}}.$$

Задача решена.

## Приложение А

### Расчетно-проектировочная работа «Геометрические характеристики плоских сечений».

Для сечения, симметричного относительно вертикальной оси, составленного из прямоугольников и прокатных профилей, требуется:

1. Вычертить сечение в масштабе и показать основные размеры в числах.
2. Определить положение центра тяжести и указать положение главных центральных осей.
3. Вычислить величину главных центральных моментов инерции сечения и главных центральных моментов сопротивления сечения.
4. Определить величину главных центральных радиусов инерции сечения.

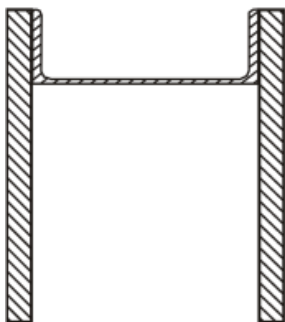
Варианты заданий приведены на страницах 29-31. Числовые данные взять из таблицы А1.

Таблица А1

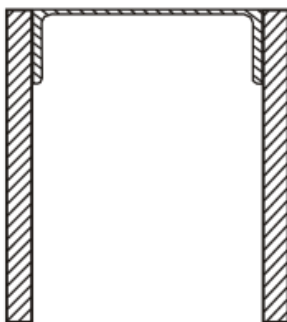
№	швеллер	двутавр	равнополочный уголок, мм	неравнополочный уголок, мм	пластина, мм
1	№8У	№16Б2	25x25x4	70x45x5	150x20
2	№10У	№18Б2	40x40x4	80x50x5	160x25
3	№12У	№20Б1	50x50x5	90x56x8	170x25
4	№14У	№23Б1	56x56x5	100x63x10	190x25
5	№16У	№26Б1	63x63x6	125x80x7	200x20
6	№16аУ	№26Б2	70x70x8	125x80x10	210x20
7	№18У	№30Б1	75x75x9	140x90x8	220x25
8	№18аУ	№30Б2	80x80x8	140x90x10	250x20
9	№20У	№35Б1	90x90x6	160x100x10	250x25
10	№22У	№35Б2	90x90x9	160x100x14	260x20
11	№24У	№40Б2	110x110x8	180x110x10	280x20
12	№27У	№45Б1	125x125x10	200x125x11	300x20
13	№30У	№50Б1	125x125x16	200x125x16	320x20
14	№33У	№55Б1	140x140x12	250x160x12	350x20
15	№36У	№60Б1	160x160x20	250x160x20	400x20
16	№10У	№30Б1	40x40x3	50x32x4	120x25
17	№12У	№30Б2	45x45x4	56x36x4	130x20
18	№14У	№35Б1	50x50x4	63x40x6	140x20
19	№16У	№40Б1	56x56x4	75x50x8	150x25
20	№18У	№40Б2	63x63x4	80x50x6	160x20
21	№20У	№45Б2	70x70x6	110x70x8	170x20

Варианты заданий

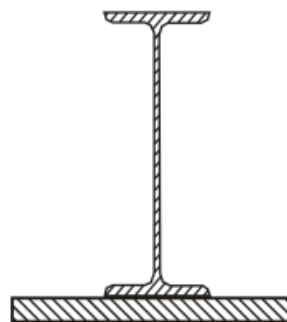
1



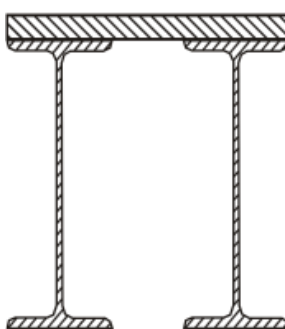
2



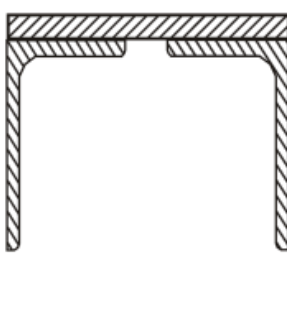
3



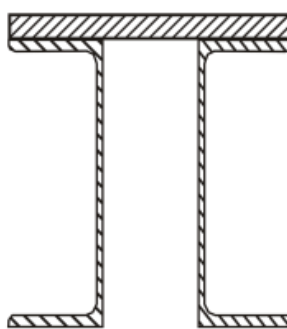
4



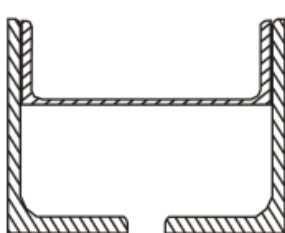
5



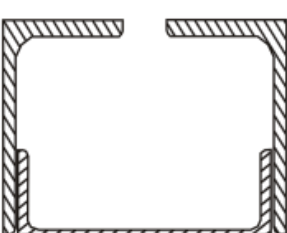
6



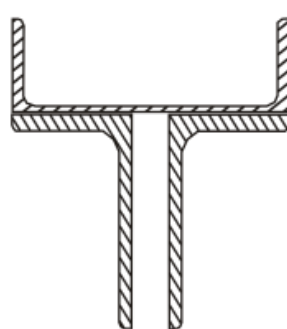
7



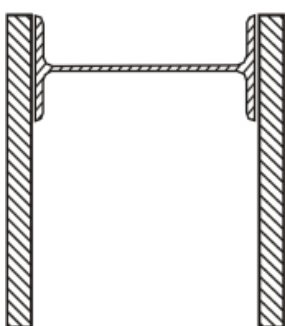
8



9



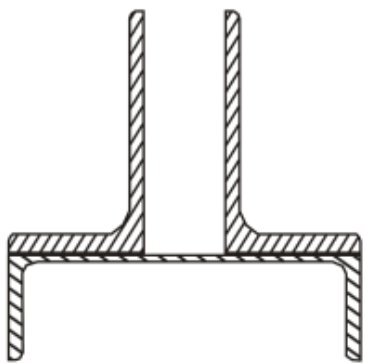
10



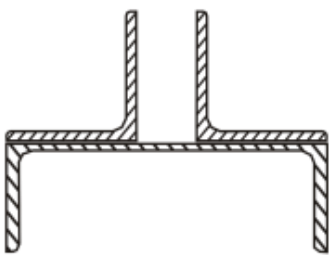
11



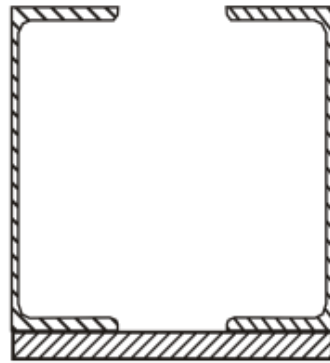
12



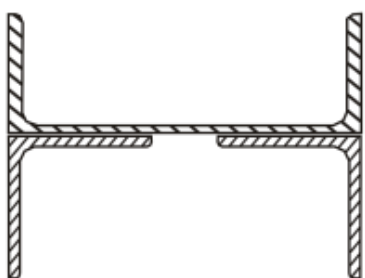
13



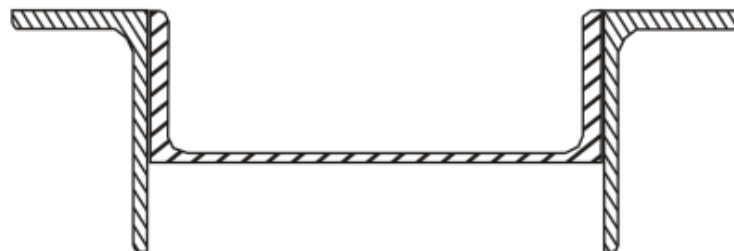
14



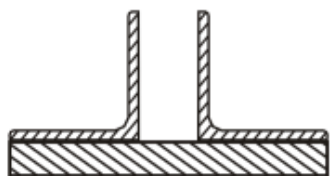
15



16



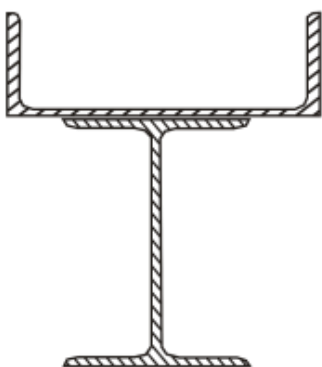
17



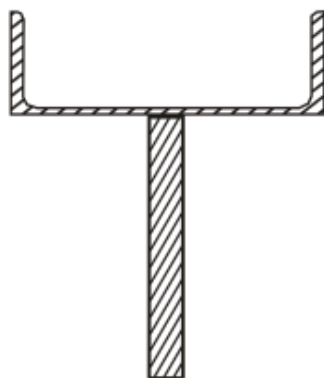
18



19



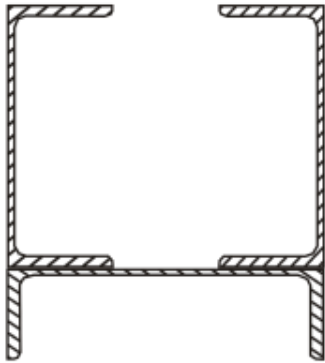
20



21



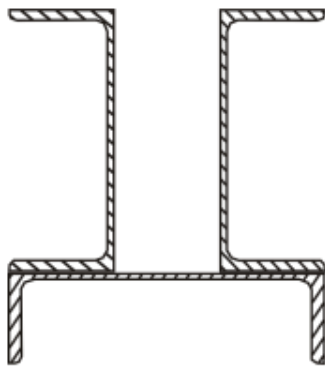
22



23



24



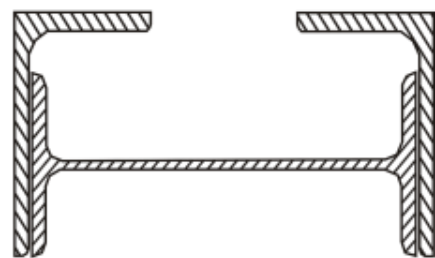
25



26



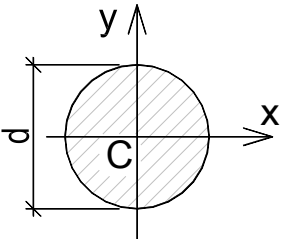
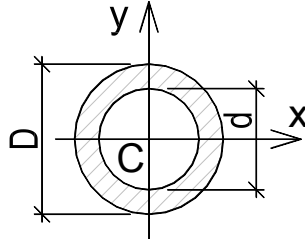
27



## Приложение Б

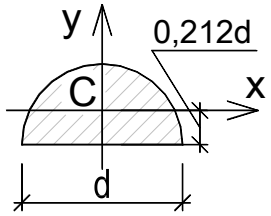
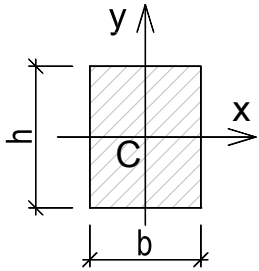
## Геометрические характеристики простейших сечений

Таблица Б1 - Геометрические характеристики простейших сечений

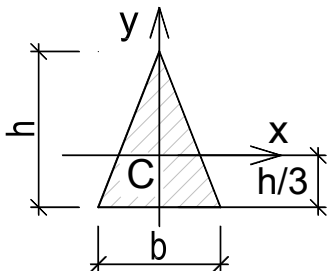
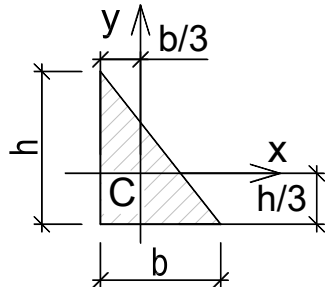
Форма сечения	Площадь сечения, $A$	Осевые моменты инерции		Осевые моменты сопротивления		Осевые радиусы инерции	
		$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$	$i_x$	$i_y$
Круг 	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3$	$\frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3$	$\frac{d}{4}$	$\frac{d}{4}$
Кольцо 	$\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{32D}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{32D}$	$\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$	$\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$



## Продолжение таблицы Б1

Форма сечения	Площадь сечения, $A$	Осевые моменты инерции		Осевые моменты сопротивления		Осевые радиусы инерции	
Полукруг 	$\frac{\pi d^2}{8}$	$0,00686d^4$	$\frac{\pi d^4}{128} \approx$ $0,0246d^4$	$0,0239d^3$	$\frac{\pi d^3}{64} \approx$ $0,05d^3$	$0,132d$	$\frac{d}{4}$
Прямоугольник 	$bh$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{hb^2}{6}$	$\frac{h}{\sqrt{12}} \approx$ $0,289h$	$\frac{b}{\sqrt{12}} \approx$ $0,289b$

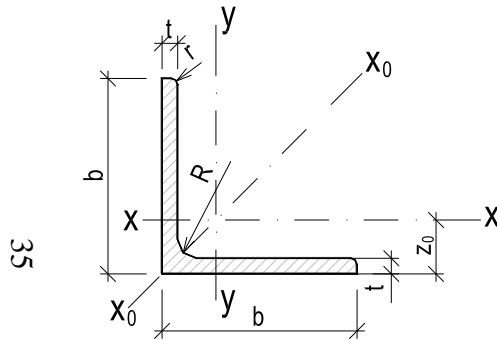
## Продолжение таблицы Б1

Форма сечения	Площадь сечения, $A$	Осевые моменты инерции		Осевые моменты сопротивления		Осевые радиусы инерции	
		$J_x$	$J_y$	$W_x$	$W_y$	$i_x$	$i_y$
Равнобедренный треугольник 	$\frac{1}{2}bh$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{hb^3}{48}$	$\frac{bh^2}{24}$	$\frac{hb^2}{24}$	$\frac{h}{\sqrt{18}} \approx 0,236h$	$\frac{b}{\sqrt{24}} \approx 0,204b$
Прямоугольный треугольник 	$\frac{1}{2}bh$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{hb^3}{36}$	$\frac{bh^2}{24}$	$\frac{hb^2}{24}$	$\frac{h}{\sqrt{18}} \approx 0,236h$	$\frac{b}{\sqrt{18}} \approx 0,236b$

## Приложение В

### Сортамент прокатных профилей

Таблица В1 – Сталь прокатная угловая равнополочная (ГОСТ 8509-86)



$b$  - ширина полки;  
 $t$  - толщина полки;  
 $R$  - радиус внутреннего закругления;  
 $r$  - радиус закругления полок;  
 $z_0$  - расстояние от центра тяжести  
 до наружной грани полки;  
 $G$  - масса одного метра уголка;

$A$  - площадь сечения;  
 $J$  - момент инерции;  
 $W$  - момент сопротивления;  
 $i$  - радиус инерции;  
 $J_{xy}$  - центробежный момент инерции;

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей									$G,$ $кг/м$	
				x-x			$X_0-X_0$		$Y_0-Y_0$			$J_{xy}, см^4$		$z_0,$ $см$
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_{x0max},$ $см^4$	$i_{x0max},$ $см$	$J_{y0min},$ $см^4$	$W_{y0min},$ $см^3$	$i_{y0min},$ $см$			
20x20x3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	0,39	0,23	0,60	0,89
20x20x4	3,5	1,2	1,46	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	0,38	0,28	0,64	1,15
25x25x3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,47	0,73	1,12
25x25x4	3,5	1,2	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,59	0,76	1,46
25x25x5	3,5	1,2	2,27	1,22	0,72	0,73	1,91	0,92	0,53	0,47	0,48	0,69	0,80	1,78



## Продолжение таблицы В1

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей									$G,$ $кг/м$	
				x-x			$X_0-X_0$		$Y_0-Y_0$			$J_{xy}, см^4$		$z_0,$ $см$
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_{x0max},$ $см^4$	$i_{x0max},$ $см$	$J_{y0min},$ $см^4$	$W_{y0min},$ $см^3$	$i_{y0min},$ $см$			
28x28x3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,68	0,80	1,27
30x30x3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85	0,85	1,36
30x30x4	4,0	1,3	2,27	1,84	0,87	0,90	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	1,08	0,89	1,78
30x30x5	4,0	1,3	2,78	2,20	1,06	0,89	3,47	1,12	0,94	0,71	0,58	1,27	0,93	2,18
32x32x3	4,0	1,5	1,86	1,77	0,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,59	0,63	1,03	0,89	1,46
32x32x4	4,5	1,5	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,622	1,32	0,94	1,91
35x35x3	4,5	1,5	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	1,37	0,97	1,60
35x35x4	4,5	1,5	2,67	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,75	1,01	2,10
35x35x5	4,5	1,5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	2,10	1,05	2,58
40x40x3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	2,08	1,09	1,85
40x40x4	5,0	1,7	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	2,68	1,13	2,42
40x40x5	5,0	1,7	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	3,22	1,17	2,98
40x40x6	5,0	1,7	4,48	6,41	2,30	1,20	10,13	1,50	2,70	1,58	0,78	3,72	1,21	3,52
45x45x3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	3,00	1,21	2,08
45x45x4	5,0	1,7	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	3,89	1,26	2,73
45x45x5	5,0	1,7	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	4,71	1,30	3,37
45x45x6	5,0	1,7	5,08	9,35	2,95	1,36	14,80	1,71	3,90	2,06	0,88	5,45	1,34	3,99



## Продолжение таблицы В1

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей										$G,$ $кг/м$
				x-x			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>		Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			$J_{xy}, см^4$	$z_0,$ $см$	
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_{x0max},$ $см^4$	$i_{x0max},$ $см$	$J_{y0min},$ $см^4$	$W_{y0min},$ $см^3$	$i_{y0min},$ $см$			
50x50x3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	4,16	1,33	2,32
50x50x4	5,5	1,8	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	5,42	1,38	3,05
50x50x5	5,5	1,8	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	6,57	1,42	3,77
50x50x6	5,5	1,8	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	7,65	1,46	4,47
50x50x7	5,5	1,8	6,56	14,84	4,23	1,50	23,47	1,89	6,21	2,93	0,97	8,63	1,50	5,15
50x50x8	5,5	1,8	7,41	16,51	4,76	1,49	26,03	1,87	6,98	3,22	0,97	9,52	1,53	5,82
56x56x4	6,0	2,0	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	7,69	1,52	3,44
56x56x5	6,0	2,0	5,41	15,97	3,96	1,72	25,36	2,16	6,59	2,97	1,10	9,41	1,57	4,25
60x60x4	7,0	2,3	4,72	16,21	3,70	1,85	25,69	2,33	6,72	2,93	1,19	9,48	1,62	3,72
60x60x5	7,0	2,3	5,83	19,79	4,56	1,84	31,40	2,32	8,18	3,49	1,18	11,61	1,66	4,58
60x60x6	7,0	2,3	6,92	23,21	5,40	1,83	36,81	2,31	9,60	3,99	1,18	13,60	1,70	5,43
60x60x8	7,0	2,3	9,04	29,55	7,00	1,81	46,77	2,27	12,34	4,90	1,17	17,22	1,78	7,10
60x60x10	7,0	2,3	11,08	35,32	8,52	1,79	55,64	2,24	15,00	5,70	1,16	20,31	1,85	8,70
63x63x4	7,0	2,3	4,96	18,86	4,09	1,95	29,90	2,45	7,81	3,26	1,25	11,00	1,69	3,90
63x63x5	7,0	2,3	6,13	23,10	5,05	1,94	36,80	2,44	9,52	3,87	1,25	13,70	1,74	4,81
63x63x6	7,0	2,3	7,28	27,06	5,98	1,93	42,91	2,43	11,18	4,44	1,24	15,90	1,78	5,72



## Продолжение таблицы В1

Номер профиля	R, мм	r, мм	A, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей										G, кг/м
				x-x			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>		Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			J <sub>xy</sub> , см <sup>4</sup>	z <sub>0</sub> , см	
				J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>x0max</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>x0max</sub> , см	J <sub>y0min</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y0min</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y0min</sub> , см			
70x70x4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	5,67	2,16	46,03	2,72	12,04	4,53	1,39	17,00	1,88	4,87
70x70x5	8,0	2,7	6,86	31,94	6,27	2,16	50,67	2,72	13,22	4,92	1,39	18,70	1,90	5,38
70x70x6	8,0	2,7	8,15	37,58	7,43	2,15	59,64	2,71	15,52	5,66	1,38	22,10	1,94	6,39
70x70x7	8,0	2,7	9,42	42,98	8,57	2,14	68,19	2,69	17,77	6,31	1,37	25,20	1,99	7,39
70x70x8	8,0	2,7	10,67	48,16	9,68	2,12	76,35	2,68	19,97	6,00	1,37	28,20	2,02	8,37
70x70x10	8,0	2,7	13,11	57,90	11,82	2,10	91,52	2,64	24,27	8,17	1,36	33,60	2,10	10,29
75x75x5	9,0	3,0	7,39	39,53	7,21	2,31	62,65	2,91	16,41	5,74	1,49	23,10	2,02	5,80
75x75x6	9,0	3,0	8,78	46,57	8,57	2,30	73,87	2,90	19,28	6,62	1,48	27,30	2,06	6,89
75x75x7	9,0	3,0	10,15	53,34	9,89	2,29	84,61	2,89	22,07	7,43	1,47	31,20	2,10	7,96
75x75x8	9,0	3,0	11,50	59,84	11,18	2,28	94,89	2,87	24,80	8,16	1,47	35,00	2,15	9,02
75x75x9	9,0	3,0	12,83	66,10	12,43	2,27	104,72	2,86	27,48	8,91	1,46	38,60	2,18	10,07
80x80x5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	9,03	2,47	84,56	3,11	21,80	7,10	1,59	30,90	2,17	6,78
80x80x6	9,0	3,0	9,38	56,97	9,80	2,47	90,40	3,11	23,54	7,60	1,58	33,40	2,19	7,36
80x80x7	9,0	3,0	10,85	65,31	11,32	2,45	103,66	3,09	26,97	8,55	1,58	38,30	2,23	8,51
80x80x8	9,0	3,0	12,30	73,36	12,80	2,44	116,39	3,08	30,32	9,44	1,57	43,00	2,27	9,65
80x80x10	9,0	3,0	15,14	88,58	15,67	2,42	140,31	3,04	36,85	11,09	1,56	56,70	2,35	11,88
80x80x12	9,0	3,0	17,90	102,74	18,42	2,40	162,27	3,01	43,21	12,62	1,55	59,50	2,42	14,05



## Продолжение таблицы В1

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей										$G,$ $кг/м$
				X-X			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>		Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			$J_{xy}, см^4$	$z_0,$ $см$	
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_{x0max},$ $см^4$	$i_{x0max},$ $см$	$J_{y0min},$ $см^4$	$W_{y0min},$ $см^3$	$i_{y0min},$ $см$			
90x90x6	10,0	3,0	10,61	82,10	12,49	2,78	130,00	3,50	33,97	9,88	1,79	48,10	2,43	8,33
90x90x7	10,0	3,0	12,28	94,30	14,45	2,77	149,67	3,49	38,94	11,15	1,78	55,40	2,47	9,64
90x90x8	10,0	3,0	13,93	106,11	16,36	2,76	168,42	3,48	43,80	12,34	1,77	62,30	2,51	10,93
90x90x9	10,0	3,0	15,60	118,00	18,29	2,75	186,00	3,46	48,60	13,48	1,77	68,00	2,55	12,20
90x90x10	10,0	3,0	17,17	128,60	20,07	2,74	203,93	3,45	53,27	14,54	1,76	75,30	2,59	13,48
90x90x12	10,0	3,0	20,33	149,67	23,85	2,71	235,88	3,41	62,40	16,53	1,75	86,20	2,67	15,96
100x100x6	12,0	4,0	12,82	122,10	16,69	3,09	193,46	3,89	50,73	13,38	1,99	71,40	2,68	10,06
100x100x7	12,0	4,0	13,75	130,59	17,90	3,08	207,01	3,88	54,16	14,13	1,98	76,40	2,71	10,79
100x100x8	12,0	4,0	15,60	147,19	20,30	3,07	233,46	3,87	60,92	15,66	1,98	86,30	2,75	12,25
100x100x10	12,0	4,0	19,24	178,95	24,97	3,05	283,83	3,84	74,08	18,51	1,96	110,00	2,83	15,10
100x100x12	12,0	4,0	22,80	208,90	29,47	3,03	330,95	3,81	86,84	21,10	1,95	122,00	2,91	17,90
100x100x14	12,0	4,0	26,28	237,15	33,83	3,00	374,98	3,78	99,32	23,49	1,94	138,00	2,99	20,63
100x100x15	12,0	4,0	27,99	250,68	35,95	2,99	395,87	3,76	105,48	24,62	1,94	145,00	3,03	21,97
100x100x16	12,0	4,0	29,68	263,82	38,04	2,98	416,04	3,74	111,61	25,79	1,94	152,00	3,06	23,30
110x110x7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89
110x110x8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50
120x120x8	12,0	4,0	18,80	259,75	29,68	3,72	412,45	4,68	107,04	23,29	2,39	153,00	3,25	14,76



## Продолжение таблицы В1

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей										$G,$ $кг/м$
				x-x			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>		Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			$J_{xy}, см^4$	$z_0,$ $см$	
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_{x0max},$ $см^4$	$i_{x0max},$ $см$	$J_{y0min},$ $см^4$	$W_{y0min},$ $см^3$	$i_{y0min},$ $см$			
120x120x10	12,0	4,0	23,24	317,16	36,59	3,69	503,79	4,66	130,54	27,72	2,37	187,00	3,33	18,24
120x120x12	12,0	4,0	27,60	371,80	43,30	3,67	590,28	4,62	153,33	31,79	2,36	218,00	3,41	21,67
120x120x15	12,0	4,0	33,99	448,90	52,96	3,63	711,32	4,57	181,48	37,35	2,34	262,00	3,53	26,68
125x125x8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,76	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,46
125x125x9	14,0	4,6	22,0	327,48	36,00	3,86	520,0	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30
125x125x10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10
125x125x12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68
125x125x14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20
125x125x16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65
140x140x9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,0	3,78	19,41
140x140x10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,0	3,82	21,45
140x140x12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50
150x150x10	14,0	4,6	29,33	634,76	58,07	4,65	1008,56	5,86	260,97	45,34	2,98	374,00	4,07	23,02
150x150x12	14,0	4,6	34,89	747,48	68,90	4,63	1187,86	5,83	307,09	52,32	2,97	440,00	4,15	27,39
150x150x15	14,0	4,6	43,08	908,38	84,66	4,59	1442,60	5,79	374,17	61,96	2,95	534,00	4,27	33,82
150x150x18	14,0	4,6	51,09	1060,08	99,86	4,56	1680,92	5,74	439,24	70,91	2,93	621,00	4,38	40,11
160x160x10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,1	6,25	319,38	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67





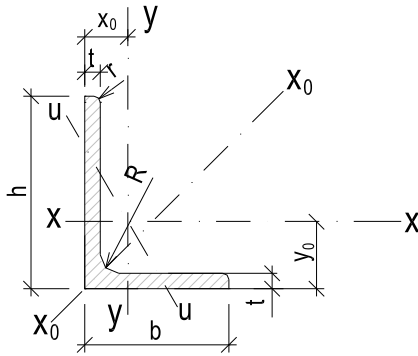
Продолжение таблицы В1

Номер профиля	R, мм	r, мм	A, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей										G, кг/м
				x-x			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>		Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			J <sub>xy</sub> , см <sup>4</sup>	z <sub>0</sub> , см	
				J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>x0max</sub> , см <sup>4</sup>	i <sub>x0max</sub> , см	J <sub>y0min</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y0min</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y0min</sub> , см			
160x160x11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02
160x160x12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	690,00	4,39	29,35
160x160x14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	771,00	4,47	33,97
160x160x16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52
160x160x18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01
160x160x20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2248,26	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	47,44
180x180x11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,1	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	30,47
180x180x12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	33,12
180x180x15	16,0	5,3	52,18	1607,36	123,74	5,55	2554,99	7,00	659,73	93,11	3,56	948,00	5,01	40,96
180x180x18	16,0	5,3	61,99	1884,07	146,36	5,51	2992,69	6,95	775,44	106,88	3,54	1108,0	5,13	48,66
180x180x20	16,0	5,3	68,43	2061,11	161,07	5,49	3271,31	6,91	850,92	115,71	3,53	1210,0	5,20	53,72
200x200x12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,4	98,68	3,99	1073,0	5,37	36,97
200x200x13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,0	5,42	39,92
200x200x14	18,0	6,0	54,60	2097,0	144,17	6,20	3333,0	7,81	861,0	111,50	3,97	1236,0	5,46	42,80
200x200x16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,0	5,54	48,65
200x200x18	18,0	6,0	69,30	2620,64	182,22	6,15	4164,54	7,75	1076,74	135,48	3,94	1544,0	5,62	54,40
200x200x20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,73	6,12	4560,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,0	5,70	60,08



## Продолжение таблицы В1

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей									$G,$ $кг/м$	
				x-x			$X_0-X_0$		$Y_0-Y_0$			$J_{xy}, см^4$		$z_0,$ $см$
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_{x0max},$ $см^4$	$i_{x0max},$ $см$	$J_{y0min},$ $см^4$	$W_{y0min},$ $см^3$	$i_{y0min},$ $см$			
200x200x24	18,0	6,0	90,78	3350,66	236,77	6,08	5313,59	7,65	1387,73	167,74	3,91	1963,0	5,85	71,26
200x200x25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,0	5,89	74,02
200x200x30	18,0	6,0	111,54	4019,6	288,57	6,00	6351,06	7,55	1698,16	193,05	3,89	2332,0	6,07	87,56
220x220x14	21,0	7,0	60,38	2814,36	175,18	6,83	4470,15	8,60	1158,56	138,62	4,38	1655,0	5,91	47,40
220x220x16	21,0	7,0	68,58	3175,44	198,71	6,80	5045,37	8,58	1305,52	153,34	4,36	1862,0	6,02	53,83
250x250x16	24,0	8,0	78,40	4717,1	258,43	7,76	7492,1	9,78	1942,09	203,45	4,98	2775,0	6,75	61,55
250x250x18	24,0	8,0	87,72	5247,24	288,82	7,73	8336,69	9,75	2157,78	223,39	4,96	3089,0	6,83	68,86
250x250x20	24,0	8,0	96,96	5764,87	318,76	7,71	9159,73	9,72	2370,01	242,52	4,94	3395,0	6,91	76,11
250x250x22	24,0	8,0	106,12	6270,32	348,26	7,69	9961,60	9,69	2579,04	260,52	4,93	3691,0	7,00	83,31
250x250x25	24,0	8,0	119,71	7006,39	391,72	7,65	11125,52	9,64	2887,26	287,14	4,91	4119,0	7,11	93,97
250x250x28	24,0	8,0	133,12	7716,86	434,86	7,61	12243,84	9,59	3189,89	311,98	4,90	4527,0	7,23	104,5
250x250x30	24,0	8,0	141,96	8176,51	462,11	7,59	12964,66	9,56	3388,98	327,82	4,89	4788,0	7,31	111,4

**Таблица В2 – Сталь прокатная угловая неравнополочная (ГОСТ 8510-86)**


$b$  - ширина меньшей полки;  
 $h$  - ширина большей полки;  
 $t$  - толщина полки;  
 $R$  - радиус внутреннего закругления;  
 $r$  - радиус закругления полков;  
 $x_0, y_0$  - расстояние от центра тяжести  
 до наружных граней полков;  
 $G$  - масса одного метра уголка;

$A$  - площадь сечения;  
 $J$  - момент инерции;  
 $W$  - момент сопротивления;  
 $i$  - радиус инерции;  
 $J_{xy}$  - центробежный момент инерции;

43

Номер профиля	$R, мм$	$r, мм$	$A, см^2$	Справочные величины для осей									$x_0,$ $см$	$y_0,$ $см$	$J_{xy},$ $см^4$	$G,$ $кг/м$
				x-x			y-y			u-u						
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_y, см^4$	$W_y, см^3$	$i_y, см$	$J_{u,min},$ $см^4$	$W_u,$ $см^3$	$i_{u,min},$ $см$				
25x16x3	3,5	1,2	1,16	0,70	0,43	0,78	0,22	0,19	0,44	0,13	0,16	0,34	0,42	0,86	0,22	0,91
30x20x3	3,5	1,2	1,43	1,27	0,62	0,94	0,45	0,30	0,56	0,26	0,25	0,43	0,51	1,00	0,43	1,12
30x20x4	3,5	1,2	1,86	1,61	0,82	0,93	0,56	0,39	0,55	0,34	0,32	0,43	0,54	1,04	0,54	1,46
32x20x3	3,5	1,2	1,49	1,52	0,72	1,01	0,46	0,30	0,55	0,28	0,25	0,43	0,49	1,08	0,47	1,17
32x20x4	3,5	1,2	1,94	1,93	0,93	1,00	0,57	0,39	0,54	0,35	0,33	0,43	0,53	1,12	0,59	1,52
40x25x3	4,0	1,3	1,89	3,06	1,14	1,27	0,93	0,49	0,70	0,56	0,41	0,54	0,59	1,32	0,96	1,48
40x25x4	4,0	1,3	2,47	3,93	1,49	1,26	1,18	0,63	0,69	0,71	0,52	0,54	0,63	1,37	1,22	1,94
40x25x5	4,0	1,3	3,03	4,73	1,82	1,25	1,41	0,77	0,68	0,86	0,64	0,53	0,66	1,41	1,44	2,38
40x30x4	4,0	1,3	2,67	4,18	1,54	1,25	2,01	0,91	0,87	1,09	0,75	0,64	0,78	1,28	1,68	2,09
40x30x5	4,0	1,3	3,28	5,04	1,88	1,24	2,41	1,11	0,86	1,33	0,91	0,64	0,82	1,32	2,00	2,57
45x28x3	5,0	1,7	2,14	4,41	1,45	1,43	1,32	0,61	0,79	0,79	0,52	0,61	0,64	1,47	1,38	1,68
45x28x4	5,0	1,7	2,80	5,68	1,90	1,42	1,69	0,80	0,78	1,02	0,67	0,60	0,68	1,51	1,77	2,20
50x32x3	5,5	1,8	2,42	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	1,18	0,68	0,70	0,72	1,60	2,01	1,90
50x32x4	5,5	1,8	3,17	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	1,52	0,88	0,69	0,76	1,65	2,59	2,49



## Продолжение таблицы В2

Номер профиля	R, мм	r, мм	A, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей									x <sub>0</sub> , см	y <sub>0</sub> , см	J <sub>xy</sub> , см <sup>4</sup>	G, кг/м
				x-x			y-y			u-u						
				J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см	J <sub>u,min</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>u</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>u,min</sub> , см				
56x36x4	6,0	2,0	3,58	11,37	3,01	1,78	3,70	1,34	1,02	2,19	1,13	0,78	0,84	1,82	3,74	2,81
56x36x5	6,0	2,0	4,41	13,82	3,70	1,77	4,48	1,65	1,01	2,65	1,37	0,78	0,88	1,87	4,50	3,46
63x40x4	7,0	2,3	4,04	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	3,07	1,41	0,87	0,91	2,03	5,25	3,17
63x40x5	7,0	2,3	4,98	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	3,73	1,72	0,86	0,95	2,08	6,41	3,91
63x40x6	7,0	2,3	5,90	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	4,36	2,02	0,86	0,99	2,12	7,44	4,63
63x40x8	7,0	2,3	7,68	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	5,58	2,60	0,85	1,07	2,20	9,27	6,03
65x50x5	6,0	2,0	5,56	23,41	5,20	2,05	12,08	3,23	1,47	6,41	2,68	1,07	1,26	2,00	9,77	4,36
65x50x6	6,0	2,0	6,60	27,46	6,16	2,04	14,12	3,82	1,46	7,52	3,15	1,07	1,30	2,04	11,46	5,18
65x50x7	6,0	2,0	7,62	31,32	7,08	2,03	16,05	4,38	1,45	8,60	3,59	1,06	1,34	2,08	12,94	5,98
65x50x8	6,0	2,0	8,62	35,00	7,99	2,02	18,88	4,93	1,44	9,65	4,02	1,06	1,37	2,12	13,61	6,77
70x45x5	7,5	2,5	5,59	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	5,34	2,20	0,98	1,05	2,28	9,12	4,39
75x50x5	8,0	2,7	6,11	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	7,24	2,73	1,09	1,17	2,39	12,00	4,79
75x50x6	8,0	2,7	7,25	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	8,48	3,21	1,08	1,21	2,44	14,10	5,69
75x50x7	8,0	2,7	8,37	46,77	9,31	2,36	16,61	4,43	1,41	9,69	3,69	1,08	1,25	2,48	16,18	6,57
75x50x8	8,0	2,7	9,47	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,40	10,87	4,14	1,07	1,29	2,52	17,80	7,43
80x50x5	8,0	2,7	6,36	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	7,57	2,75	1,09	1,13	2,60	13,20	4,99
80x50x6	8,0	2,7	7,55	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	8,88	3,24	1,08	1,17	2,65	15,50	5,92
80x60x6	8,0	2,7	8,15	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	13,61	4,66	1,29	1,49	2,47	20,98	6,39
80x60x7	8,0	2,7	9,42	59,61	10,87	2,52	28,74	6,43	1,75	15,58	5,34	1,29	1,53	2,52	24,01	7,39
80x60x8	8,0	2,7	10,67	66,88	12,38	2,50	32,15	7,26	1,74	17,49	5,99	1,28	1,57	2,56	26,83	8,37
90x56x5,5	9,0	3,0	7,86	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	11,77	3,81	1,22	1,26	2,92	20,54	6,17
90x56x6	9,0	3,0	8,54	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	12,70	4,12	1,22	1,28	2,95	22,23	6,70
90x56x8	9,0	3,0	11,18	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	16,29	5,32	1,21	1,36	3,04	28,33	8,77
100x63x6	10,0	3,3	9,58	98,29	14,52	3,20	30,58	6,27	1,79	18,20	5,27	1,38	1,42	3,23	31,50	7,53
100x63x7	10,0	3,3	11,09	112,86	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	20,83	6,06	1,37	1,46	3,28	36,10	8,70
100x63x8	10,0	3,3	12,57	126,96	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	23,38	6,82	1,36	1,50	3,32	40,50	9,87

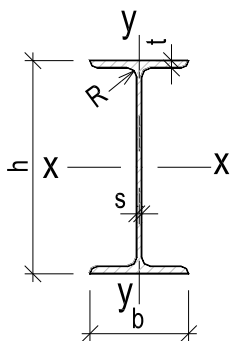


Продолжение таблицы В2

Номер профиля	R, мм	r, мм	A, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей									x <sub>0</sub> , см	y <sub>0</sub> , см	J <sub>xy</sub> , см <sup>4</sup>	G, кг/м
				x-x			y-y			u-u						
				J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см	J <sub>u,min</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>u</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>u,min</sub> , см				
100x63x10	10,0	3,3	15,47	153,83	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	28,34	8,31	1,35	1,5 8	3,4 0	48,60	12,14
100x65x7	10,0	3,3	11,23	114,05	16,87	3,19	38,32	7,70	1,85	22,77	6,43	1,41	1,5 2	3,2 4	38,00	8,81
100x65x8	10,0	3,3	12,73	138,31	19,11	3,18	42,96	8,70	1,84	25,24	7,26	1,41	1,5 6	3,2 8	42,64	9,99
100x65x10	10,0	3,3	15,67	155,52	23,45	3,15	51,68	10,64	1,82	30,60	8,83	1,40	1,6 4	3,3 7	51,18	12,30
110x70x6,5	10,0	3,3	11,45	142,42	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	26,94	7,05	1,53	1,5 8	3,5 5	46,80	8,98
110x70x8	10,0	3,3	13,93	171,54	23,22	3,51	54,64	10,20	1,98	32,31	8,50	1,52	1,6 4	3,6 1	55,90	10,93
125x80x7	11,00	3,7	14,06	226,53	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	43,40	9,96	1,76	1,8 0	4,0 1	74,70	11,04
125x80x8	11,00	3,7	15,98	255,62	30,27	4,00	80,95	13,47	2,28	48,82	11,2 5	1,75	1,8 4	4,0 4	84,10	12,54
125x80x10	11,00	3,7	19,70	311,61	37,27	3,98	100,47	16,52	2,26	59,33	13,7 4	1,74	1,9 2	4,1 4	102,0 0	15,47
125x80x12	11,00	3,7	23,36	364,79	44,07	3,95	116,84	19,46	2,24	69,47	16,1 1	1,72	2,0 0	4,2 2	118,0 0	18,34
140x90x8	12,0	4,0	18,00	363,68	38,25	4,49	119,79	17,19	2,58	70,27	14,3 9	1,98	2,0 3	4,4 9	121,0 0	14,13
140x90x10	12,0	4,0	22,24	444,45	47,19	4,47	145,54	21,14	2,56	85,51	17,5 8	1,96	2,1 2	4,5 8	147,0 0	17,46
160x100x9	13,0	4,3	22,87	605,97	56,04	5,15	186,03	23,96	2,85	110,40	20,0 1	2,20	2,2 4	5,1 9	194,0 0	17,96
160x100x10	13,0	4,3	25,28	666,59	61,91	5,13	204,09	26,42	2,84	121,16	22,0 2	2,19	2,2 8	5,2 3	213,0 0	19,85



160x100x1 2	13,0	4,3	30,04	784,22	73,42	5,11	238,75	31,23	2,82	142,14	25,9 3	2,18	2,3 6	5,3 2	249,0 0	23,58
160x100x1 4	13,0	4,3	34,72	897,19	84,65	5,08	271,60	35,89	2,80	162,49	29,7 5	2,16	2,4 3	5,4 0	282,0 0	27,26
180x110x1 0	14,0	4,7	28,33	952,28	78,59	5,80	276,37	32,27	3,12	165,44	26,9 6	2,42	2,4 4	5,8 8	295,0 0	22,24
180x110x1 2	14,0	4,7	33,69	1122,56	93,33	5,77	324,09	38,20	3,10	194,28	31,8 3	2,40	2,5 2	5,9 7	348,0 0	26,45
200x125x1 1	14,0	4,7	34,87	1449,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	263,84	38,2 7	2,75	2,7 9	6,5 0	465,0 0	27,37
200x125x1 2	14,0	4,7	37,89	1568,19	116,51	6,43	481,93	49,85	3,57	285,04	41,4 5	2,74	2,8 3	6,5 4	503,0 0	29,74
200x125x1 4	14,0	4,7	43,87	1800,83	134,64	6,41	550,77	57,43	3,54	326,54	47,5 7	2,73	2,9 1	6,6 2	575,0 0	34,43
200x125x1 6	14,0	4,7	49,77	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	366,99	53,5 6	2,72	2,9 9	6,7 1	643,0 0	39,07

**Таблица В3 – Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок (ГОСТ 26020-83)**


$h$  - высота двутавра;  
 $b$  - ширина полки;  
 $s$  - толщина стенки;  
 $t$  - толщина полки;  
 $r$  - радиус сопряжения;

$A$  - площадь сечения;  
 $G$  - масса одного метра двутавра;  
 $J$  - момент инерции;  
 $W$  - момент сопротивления;  
 $S$  - статический момент полусечения;  
 $i$  - радиус инерции;

46

Номер профиля	мм					$A$ , $см^2$	$G$ , $кг/м$	Справочные величины для осей						
	$h$	$b$	$s$	$t$	$r$			x-x				y-y		
								$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$S_x, см^3$	$i_x, см$	$J_y, см^4$	$W_y, см^3$	$i_y, см$
Нормальные (балочные) двутавры														
10Б1	100	55	4,1	5,7	7	10,32	8,1	171	34,2	19,7	4,07	15,9	5,8	1,24
12Б1	117,6	64	3,8	5,1	7	11,03	8,7	257	43,8	24,9	4,83	22,4	7,0	1,42
12Б2	120	64	4,4	6,3		13,21	10,4	318	53,0	30,4	4,90	27,7	8,6	1,45
14Б1	137,4	73	3,8	5,6	7	13,39	10,5	435	63,3	35,8	5,70	36,4	10,0	1,65
14Б2	140	73	4,7	6,9		16,43	12,9	541	77,3	44,2	5,74	44,9	12,3	1,65
16Б1	157	82	4,0	5,9	9	16,18	12,7	689	87,8	49,5	6,53	54,4	13,3	1,83
16Б2	160	82	5,0	7,4		20,09	15,8	869	108,7	61,9	6,58	68,3	16,6	1,84
18Б1	177	91	4,3	6,5	9	19,58	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	18,0	2,04
18Б2	180	91	5,3	8,0		23,95	18,8	1317	146,3	83,2	7,41	100,8	22,2	2,05
20Б1	200	100	5,6	8,5	12	28,49	22,4	1943	194,3	110,3	8,26	142,3	28,5	2,23
23Б1	230	110	5,6	9,0	12	32,91	25,8	2996	260,5	147,2	9,54	200,3	36,4	2,47
26Б1	258	120	5,8	8,5	12	35,62	28,0	4024	312,0	176,6	10,63	245,6	40,9	2,63
26Б2	261	120	6,0	10,0		39,70	31,2	4654	356,6	201,5	10,83	288,8	48,1	2,70
30Б1	296	140	5,8	8,5	15	41,92	32,9	6328	427,0	240,0	12,29	390,0	55,7	3,05
30Б2	299	140	6,0	10,0		46,67	36,6	7293	487,8	273,8	12,50	458,6	65,5	3,13



## Продолжение таблицы В3

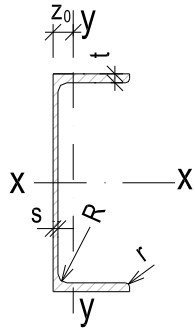
Номер профиля	мм					A, см <sup>2</sup>	G, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			x-x				y-y		
								J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см
35Б1	346	155	6,2	8,5	18	49,53	38,9	10060	581,7	328,6	14,25	529,6	68,3	3,27
35Б2	349	155	6,5	10,0		55,17	43,3	11550	662,2	373,0	14,47	622,9	80,4	3,36
40Б1	392	165	7,0	9,5	21	61,25	48,1	15750	803,6	456,0	16,03	714,9	86,7	3,42
40Б2	396	165	7,5	11,5		69,72	54,7	18530	935,7	529,7	16,30	865,0	104,8	3,52
45Б1	443	180	7,8	11,0	21	76,23	59,8	24940	1125,8	639,5	18,09	1073,7	119,3	3,75
45Б2	447	180	8,4	13,0		85,96	67,5	28870	1291,9	732,9	18,32	1269,0	141,0	3,84
50Б1	492	200	8,8	12,0	21	92,98	73,0	37160	1511,0	860,4	19,99	1606,0	160,6	4,16
50Б2	496	200	9,2	14,0		102,80	80,7	42390	1709,0	970,2	20,30	1873,0	187,3	4,27
55Б1	543	220	9,5	13,5	24	113,37	89,0	55680	2051,0	1165,0	22,16	2404,0	218,6	4,61
55Б2	547	220	10,0	15,5		124,75	97,9	62790	2296,0	1302,0	22,43	2760,0	250,9	4,70
60Б1	593	230	10,5	15,5	24	135,26	106,2	78760	2656,0	1512,0	24,13	3154,0	274,3	4,83
60Б2	597	230	11,0	17,5		147,30	115,6	87640	2936,0	1669,0	24,39	3561,0	309,6	4,92
70Б1	691	260	12,0	15,5	24	164,70	129,3	125930	3645,0	2095,0	27,65	4556,0	350,5	5,26
70Б2	697	260	12,5	18,5		183,60	144,2	145912	4187	2393,0	28,19	5437,0	418,2	5,44
80Б1	791	280	13,5	17,0	26	203,20	159,5	199500	5044	2917,0	31,33	6244,0	446,0	5,54
80Б2	798	280	14,0	20,5		226,60	177,9	232200	5820	3343,0	32,01	7527,0	537,6	5,76
90Б1	893	300	15,0	18,5	30	247,10	194,0	304400	6817	3964,0	35,09	8365,0	557,6	5,82
90Б2	900	300	15,5	22,0		272,40	213,8	349200	7760	4480,0	35,80	9943,0	662,8	6,04
100Б1	990	320	16,0	21,0	30	293,82	230,6	446000	9011	5234,0	38,96	11520,0	719,9	6,26
100Б2	998	320	17,0	25,0		328,90	258,2	516400	10350	5980,0	39,62	13710,0	856,9	6,46
100Б3	1006	320	18,0	29,0		364,00	285,7	587700	11680	6736,0	40,18	15900,0	993,9	6,61
100Б4	1013	320	19,5	32,5		400,60	314,5	655400	12940	7470,0	40,45	17830,0	1114,3	6,67





## Продолжение таблицы В3

Номер профиля	мм					A, см <sup>2</sup>	G, кг/м	Справочные величины для осей						
	h	b	s	t	r			x-x				y-y		
								J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см
Колонные двутавры														
20K1	195	200	6,5	10,0	13	52,82	41,5	3820	392	216	8,50	1334	133	5,03
20K2	198	200	7,0	11,5		59,70	46,9	4422	447	247	8,61	1534	153	5,07
23K1	227	240	7,0	10,5	14	66,51	52,2	6589	580	318	9,95	2421	202	6,03
23K2	230	240	8,0	12,0		75,77	59,5	7601	661	365	10,02	2766	231	6,04
26K1	255	260	8,0	12,0	16	83,08	65,2	10300	809	445	11,14	3517	271	6,51
26K2	258	260	9,0	13,5		93,19	73,2	11700	907	501	11,21	3957	304	6,52
26K3	262	260	10,0	15,5		105,90	83,1	13560	1035	576	11,32	4544	349	6,55
30K1	296	300	9,0	13,5	18	108,00	84,8	18110	1223	672	12,95	6079	405	7,50
30K2	300	300	10,0	15,5		122,70	96,3	20930	1395	771	13,06	6980	465	7,54
30K3	304	300	11,5	17,5		138,72	108,9	23910	1573	874	13,12	7881	525	7,54
35K1	343	350	10,0	15,0	20	139,70	109,7	31610	1843	1010	15,04	10720	613	8,76
35K2	348	350	11,0	17,5		160,40	125,9	37090	2132	1173	15,21	12510	715	8,83
35K3	353	350	13,0	20,0		184,10	144,5	42970	2435	1351	15,28	14330	817	8,81
40K1	393	400	11,0	16,5	22	175,80	138,0	52400	2664	1457	17,26	17610	880	10,00
40K2	400	400	13,0	20,0		210,96	165,6	64140	3207	1767	17,44	21350	1067	10,06
40K3	409	400	16,0	24,5		257,80	202,3	80040	3914	2180	17,62	26150	1307	10,07
40K4	419	400	19,0	29,5		308,60	242,2	98340	4694	2642	17,85	31500	1575	10,10
40K5	431	400	23,0	35,5		371,00	291,2	121570	5642	3217	18,10	37910	1896	10,11

**Таблица В4– Швеллеры стальные горячекатаные с уклоном внутренних граней полок (ГОСТ 8240-97)**


$h$  - высота швеллера;  
 $b$  - ширина полки;  
 $s$  - толщина стенки;  
 $t$  - толщина полки;  
 $R$  - радиус внутреннего закругления;  
 $r$  - радиус закругления полки  
 $z_0$  - расстояние от оси у-у до  
 наружной грани стенки;

$A$  - площадь сечения;  
 $G$  - масса одного метра швеллера;  
 $J$  - момент инерции;  
 $W$  - момент сопротивления;  
 $i$  - радиус инерции;  
 $S$  - статический момент полусечения;

49

Номер швеллера	$h$	$b$	$s$	$t$	$R$	$r$	$A, \text{ см}^2$	$G, \text{ кг/м}$	Справочные значения для осей						$z_0, \text{ см}$	
									x-x			y-y				
									$J_x, \text{ см}^4$	$W_x, \text{ см}^3$	$i_x, \text{ см}$	$S_x, \text{ см}^3$	$J_y, \text{ см}^4$	$W_y, \text{ см}^3$		$i_y, \text{ см}$
5У	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5У	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8У	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,30	12,80	4,75	1,19	1,31
10У	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	1,37	1,44
12У	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	1,53	1,54
14У	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	1,70	1,67
16У	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	1,87	1,80
16аУ	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	59,40	78,80	16,40	2,01	2,00
18У	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	2,04	1,94
18аУ	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	76,10	105,00	20,00	2,18	2,13
20У	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	2,20	2,07
22У	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	2,37	2,21
24У	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	2,60	2,42
27У	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	2,73	2,47



Продолжение таблицы В4

Номер швеллера	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>r</i>	<i>A</i> , <i>см</i> <sup>2</sup>	<i>G</i> , <i>кг/м</i>	Справочные значения для осей							<i>z</i> <sub>0</sub> , <i>см</i>
	мм								x-x			y-y				
									<i>J</i> <sub><i>x</i></sub> , <i>см</i> <sup>4</sup>	<i>W</i> <sub><i>x</i></sub> , <i>см</i> <sup>3</sup>	<i>i</i> <sub><i>x</i></sub> , <i>см</i>	<i>S</i> <sub><i>x</i></sub> , <i>см</i> <sup>3</sup>	<i>J</i> <sub><i>y</i></sub> , <i>см</i> <sup>4</sup>	<i>W</i> <sub><i>y</i></sub> , <i>см</i> <sup>3</sup>	<i>i</i> <sub><i>y</i></sub> , <i>см</i>	
30У	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,60	2,84	2,52
33У	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	2,97	2,59
36У	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,90	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	3,10	2,68
40У	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,30	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	3,23	2,75

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.В. Сопротивление материалов /А.В.Александров, В.Д.Потапов, Б.П.Державин – М.: Высшая школа, 2007–560с.
2. Варданян Г.С. Сопротивление материалов с основами строительной механики /Г.С.Варданян–М.: ИНФРА-М, 2003 –572с.
3. Сопротивление материалов /под ред. А.Ф.Смирнова–М.: Высшая школа, 1975–540с
4. Куриленко Е.Ю. Краткий справочник по сопротивлению материалов.—Тюмень: РИО ТюмГАСУ, 2002г.