

Нижнекамский химико-технологический институт
Машины и аппараты химических производств

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ ОСЕЙ СЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ
И ЗНАЧЕНИЙ ГЛАВНЫХ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ.**

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Сабанаев И.А., Алмакаева Ф.М.

Нижнекамск 2009

Цель работы: изучить технологию расчета положения главных осей для сечения заданной формы и значений главных моментов инерции.

Задачи, которые необходимо решить для достижения цели работы:

- 1) изучение аналитического способа определения центра тяжести составного сечения;
- 2) изучение способа расчета моментов инерции относительно центральных осей составного сечения путем параллельного переноса осей координат;
- 3) изучение способа расчета положения главных осей сечения и главных моментов инерции по известным значениям моментов инерции относительно центральных осей путем поворота осей координат.

Приборы и материалы для проведения лабораторной работы: брус составного сечения, полученный сваркой нескольких стандартных профилей (швеллер, уголок, двутавр, пластина и пр.), штангенциркуль, линейка, транспортир, миллиметровая бумага.

Введение

Задача определения положения главных осей сечения и вычисления значений главных моментов инерции составного сечения нередко встречается в практической деятельности инженера-механика. Допустим, требуется собрать несущую балку или элемент рамной конструкции с высокой прочностью и жесткостью. Для этого брус собирается из нескольких стандартных профилей: уголков, швеллеров, двутавров, которые отрезаются по одинаковой длине и объединяются в единый брус путем электрической дуговой сварки по всей длине (см. рис. 1). Причем, если правильно сориентировать их по отношению друг к другу, можно достичь наилучшей прочности и жесткости. Моменты инерции сечения являются характеристикой его жесткости, поэтому определение экстремального (наибольшего) для данного сечения момента инерции является важной задачей.

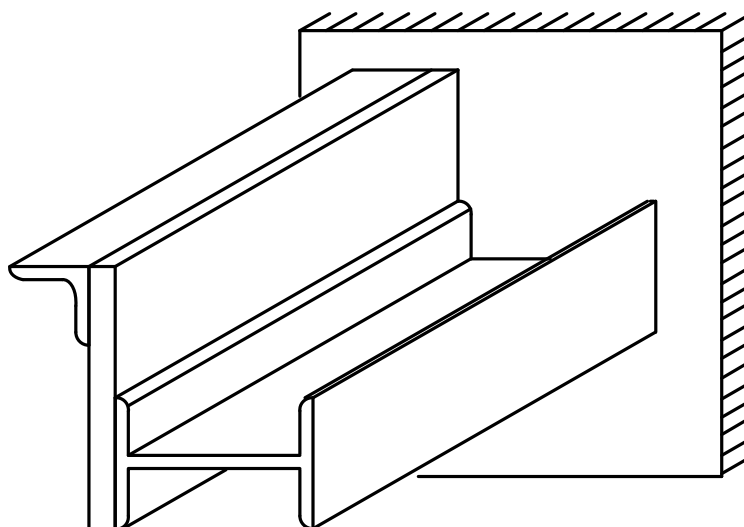


Рис. 1. Брус составного сечения.

1. Краткая теория по теме «Геометрические характеристики плоских сечений»

1.1. Основные характеристики плоских сечений

Статические моменты площади сечения есть произведение площади сечения на расстояние от оси до центра тяжести сечения:

$$S_X = F \cdot Y_C \quad S_Y = F \cdot X_C \quad \dots(1)$$

где F – площадь сечения, X_C , Y_C – расстояния от осей координат до центра тяжести сечения.

Свойства статических моментов.

1. Статические моменты имеют размерность длины в третьей степени: м^3 , см^3 , мм^3 (площадь умножить на расстояние).

2. Они могут быть положительными, отрицательными и равными нулю, в зависимости от положения осей координат (или знака координат X , Y).

3. Статические моменты относительно осей, проходящих через центр тяжести, равны нулю (расстояние от оси до центра тяжести равно нулю, значит и произведение равно нулю).

Оси, проходящие через центр тяжести сечения, называются центральными осями.

С помощью статических моментов можно определить координаты центра тяжести. Для этого формулы (1) нужно переписать относительно координат точки C – центра тяжести сечения:

$$X_c = \frac{S_y}{F} \quad y_c = \frac{S_x}{F} \quad \dots(2)$$

Если сечение имеет сложную форму, то следует вначале разбить его на простейшие фигуры (прямоугольники, треугольники, квадраты, швеллер, уголок, двутавр и т.п.), для каждой из которых известно положение центра тяжести, а затем вычислить координаты центра тяжести всей фигуры по следующим формулам:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_{ci}}{\sum_{i=1}^n F_i}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_{ci}}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad \dots(3)$$

где i – номер простейшей фигуры, F_i – ее площадь.
 X_{ci} , Y_{ci} – координаты центра тяжести i - фигуры

Моменты инерции

Различают осевые, полярный и центробежный моменты инерции сечения. Осевым моментом инерции относительно оси X называется интеграл вида:

$$I_x = \int_F y^2 dF \quad \dots(4)$$

относительно оси Y :

$$I_y = \int_F x^2 dF \quad \dots(5)$$

Полярным моментом инерции сечения относительно полюса O называется интеграл

$$I_p = \int_F r^2 dF \quad \dots(6)$$

где r – полюсное расстояние до элементарной площадки

Центробежным моментом инерции сечения относительно осей X и Y называется интеграл

$$I_{xy} = \int_F x \cdot y \cdot dF \quad \dots(7)$$

Свойства моментов инерции:

- 1) размерность m^4, cm^4, mm^4 ;
- 2) осевые и полярный моменты инерции всегда положительны (с каким бы знаком ни была координата – при возведении в квадрат она становится положительной),
- 3) центробежный может быть положительным, отрицательным и равным нулю, в зависимости от положения осей;
- 4) сумма осевых моментов инерции не зависит от поворота осей координат – она величина постоянная и равная полярному моменту инерции: $I_x + I_y = const$
- 5) центробежный момент сечения относительно осей, из которых хотя бы одна является осью симметрии, равен нулю.

1.2. Главные оси сечения и главные моменты инерции

При некоторых видах деформации, например растяжении бруса, форма сечения не оказывает никакого влияния на ее величину. Другими словами, нет никакой разницы – растягивать стержень круглой или квадратной формы сечения или сечение в форме, например, швеллера. Жесткость бруса при растяжении зависит только от размеров сечения, т.е. ее площади.

При изгибе, не только размеры, но и форма сечения оказывают существенное влияние на жесткость сечения и, соответственно, способность сопротивляться деформации (см. рис. 2).

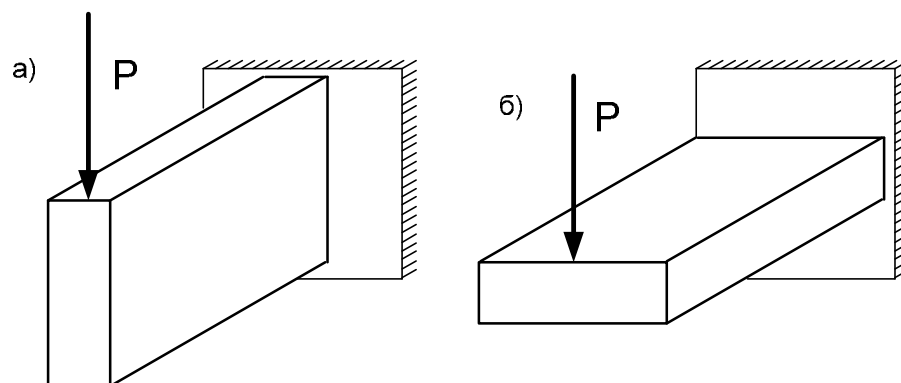


Рис. 2. Ориентация сечения по отношению к нагрузке, обеспечивающая наибольшую (а) и наименьшую (б) жесткость

Брус, изображенный на рис. 2 (б) получит больший прогиб, чем брус, изображенный на рис. 2 (а), несмотря на то, что величина силы P , длина бруса и площадь сечения одинакова.

На приведенных рисунках, жесткость изменяется ориентацией сечения по отношению к изгибающей силе P . Задача получения максимальной жесткости бруса, таким образом, сводится к правильной ориентации сечения к изгибающей силе.

В случае сложной формы сечения выбор правильного направления изгибающей силы P не столь очевиден, как например, на рисунке 1.

В таких случаях приходится определять положение главных осей сечения и значения главных моментов инерции.

Главными осями сечения называется такая пара осей X_0, Y_0 , относительно которых моменты инерции экстремальны, т.е. один из них принимает максимально возможное для данного сечения значение, а второй принимает – минимально возможное значение.

Задача определения положения главных осей сводится к определению угла α_0 между некоторыми заранее выбранными осями и главными осями сечения. Зная этот угол поворачивают выбранные оси до совмещения их с главными. Зная угол, сделать это не сложно. Изгибающую силу P прикладывают так, чтобы получить изгиб относительно оси с **наибольшим** моментом инерции. Можно поступить и наоборот, не трогая заданную силу, поворачивать само сечение вокруг продольной оси Z (см. рис. 3).

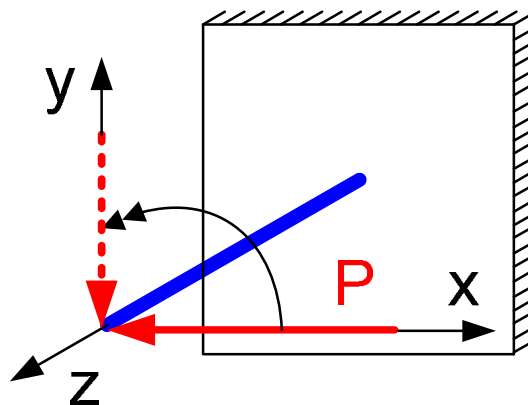


Рис. 3. Выбор направления силы для обеспечения наименьшей деформации

1.3. Порядок (алгоритм) определения положения главных осей и значений главных моментов инерции

Чтобы решить задачу о положении главных осей сечения и вычисления главных моментов инерции нужно последовательно выполнить 3 процедуры:

1) определение центра тяжести составного сечения на основе статических моментов площади с использованием формул 3;

2) вычисление моментов инерции относительно центральных осей на основе формул параллельного переноса осей координат;

$$I_{xc} = I_x + a^2 F$$

$$I_{yc} = I_y + b^2 F$$

$$I_{xyc} = I_{xy} + abF$$

...8

3) определение угла поворота центральных осей до совмещения их с главными осями и расчет главных моментов инерции на основе формул поворота осей координат.

$$\begin{aligned} I_{x_0} &= I_{xc} \cos^2 a_0 + I_y \sin^2 a_0 - I_{xcyc} \sin 2a_0 \\ I_{y_0} &= I_{xc} \sin^2 a_0 + I_{yc} \cos^2 a_0 + I_{xcyc} \sin 2a_0 \\ I_{x_0 y_0} &= I_{xcyc} \cos 2a_0 + \frac{I_{xc} - I_{yc}}{2} \sin 2a_0 \end{aligned} \quad \dots 9$$

где угол между центральными осями X_c, Y_c и главными осями X_0, Y_0 определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} 2a_0 = \frac{2 \cdot I_{xcyc}}{I_{yc} - I_{xc}} \quad \dots 10$$

2. Пример решения задачи

2.1. Проведение измерений и определение исходных данных для проведения расчетов

Сначала с помощью штангенциркуля замерьте определяющие размеры для каждого из трех элементов составного сечения. Для прямоугольника нужно измерить высоту и ширину сечения. Для швеллера, двутавра и уголка следует измерить высоту (h) и ширину (b) сечения, а также толщину полки (t или d для уголка).

Запишите в отчет измеренные значения и далее по этим значениям с помощью таблиц приложения, определите номера стандартных профилей (швеллера, двутавра или уголка). Выпишите из приложения необходимые данные и заполните ими таблицу 1.

Если ваше сечение включает прямоугольник, рассчитайте предварительно его геометрические характеристики: площадь F , моменты инерции относительно осей X и Y :

$$F = h \cdot b \quad I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12} \quad \dots 11$$

В заключение этого этапа начертите на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1 заданное вам составное сечение. Чтобы пояснить ход выполнения работы параллельно с пояснениями к работе в пособии будет решаться пример. Схема и результаты измерения по данным примера приводятся на рис. 4 и в таблице 1.

Если вы выполняете работу не в аудитории, т.е. без макета составного бруса, воспользуйтесь заданием, которое приводится в конце пособия. В задании уже указаны размеры отдельных элементов, составляющих сечение и, таким образом, измерения производить не нужно.

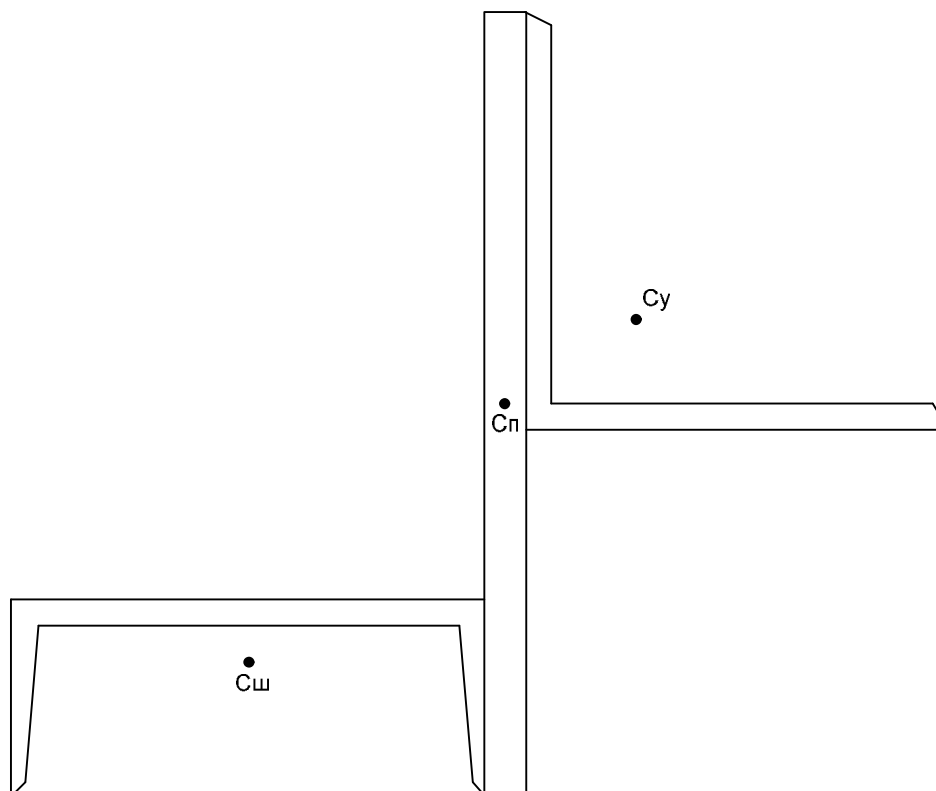


Рис. 4. Схема расположения элементов сечения к рассматриваемому примеру

Таблица 1.

Результаты измерения характеристик отдельных элементов сечения для рассматриваемого примера

Название профиля	Индекс в расчетных формулах	Высота h, см	Ширина b, см	Площадь F, см ²	Смещение центра тяжести Z ₀ , см	Момент инерции I _x , см ⁴	Момент инерции I _y , см ⁴	Момент инерции I _{xy} , см ⁴
Прямоугольник 16x300	п	30	1,6	48	-	3600	10,24	0
Уголок №16(10)*	у	16	16	31,4	4,3	744	744	-455**
Швеллер №18	ш	18	7,4	22,2	2,13	105***	1190***	0

* Примечание. Уголок №16(10) означает, что ширина полки уголка 160 мм (16 см), а толщина стенки составляет в среднем 10 мм.

** Примечание. Центробежный момент инерции относительно неглавных осей для уголка нужно рассчитать по формуле:

$$I_{xy} = -\frac{I_{x0} - I_{y0}}{2} = -\frac{1229 - 319}{2} = -455 \text{ см}^4$$

Значения моментов инерции относительно главных осей X_0 и Y_0 , которые используются в этой формуле, выбираются по таблице из приложения для вашего уголка.

*** Примечание. Табличные значения моментов инерции для швеллера относительно осей X и Y пришлось поменять местами, т.к. в заданном сечении швеллер повернут на 90° по отношению к швеллеру, который приводится в приложении.

2.2. Определение положения центра тяжести составного сечения и выбор центральных осей

Для определения положения центра тяжести воспользуемся формулой 3. Проведем рабочие оси.

Расчеты будут проще, если оси провести так, чтобы все сечение оказалось в правой верхней четверти координатной плоскости. Для рассматриваемого примера такими осями будут оси X_p и Y_p , показанные на рис. 5.

Построения на этом рисунке показывают, как определить координаты центров тяжести отдельных элементов составного сечения относительно выбранных рабочих осей.

Построения выполняем миллиметровой бумаге в масштабе 1:1.

Другой способ: построения выполняем с помощью графического редактора MS Visio и распечатываем на принтере.

1) Для швеллера.

Координата $X_{сш}$ есть расстояние от оси Y_p до центра тяжести швеллера $Сш$. Она равна половине высоты швеллера h , т.е.:

$$X_{сш} = \frac{1}{2} h_{ш} = 18 / 2 = 9 \text{ см.}$$

Координат $Y_{сш}$ определяется как разность между шириной швеллера и расстоянием от боковины швеллера до его центра тяжести, т.е.:

$$Y_{сш} = b_{ш} - Z_{0ш} = 7,4 - 2,13 = 5,27 \text{ см}$$

2) Для прямоугольника.

Координата $X_{сп}$ равна расстоянию от оси Y_p до центра тяжести прямоугольника и рассчитывается как сумма двух отрезков:

$$X_{сп} = h_{ш} + b_{п} / 2 = 18 + 1,6 / 2 = 18,8 \text{ см.}$$

Координата $Y_{сп}$ есть расстояние от оси X_p до центра тяжести прямоугольника и рассчитывается как половина его высоты:

$$Y_{сп} = \frac{1}{2} h_{п} = \frac{1}{2} 30 = 15 \text{ см.}$$

3) Для уголка.

Координата центра тяжести $X_{су}$ рассчитывается как сумма трех отрезков: высоты швеллера, ширины прямоугольника и расстояния до центра тяжести уголка от его боковины:

$$X_{су} = h_{ш} + b_{п} + Z_{0у} = 18 + 1,6 + 4,3 = 23,9 \text{ см.}$$

Координата $Y_{су}$ рассчитывается по формуле (см. рис. 5):

$$Y_{су} = h_{п} - b_y + Z_{0у} = 30 - 16 + 4,3 = 18,3 \text{ см.}$$

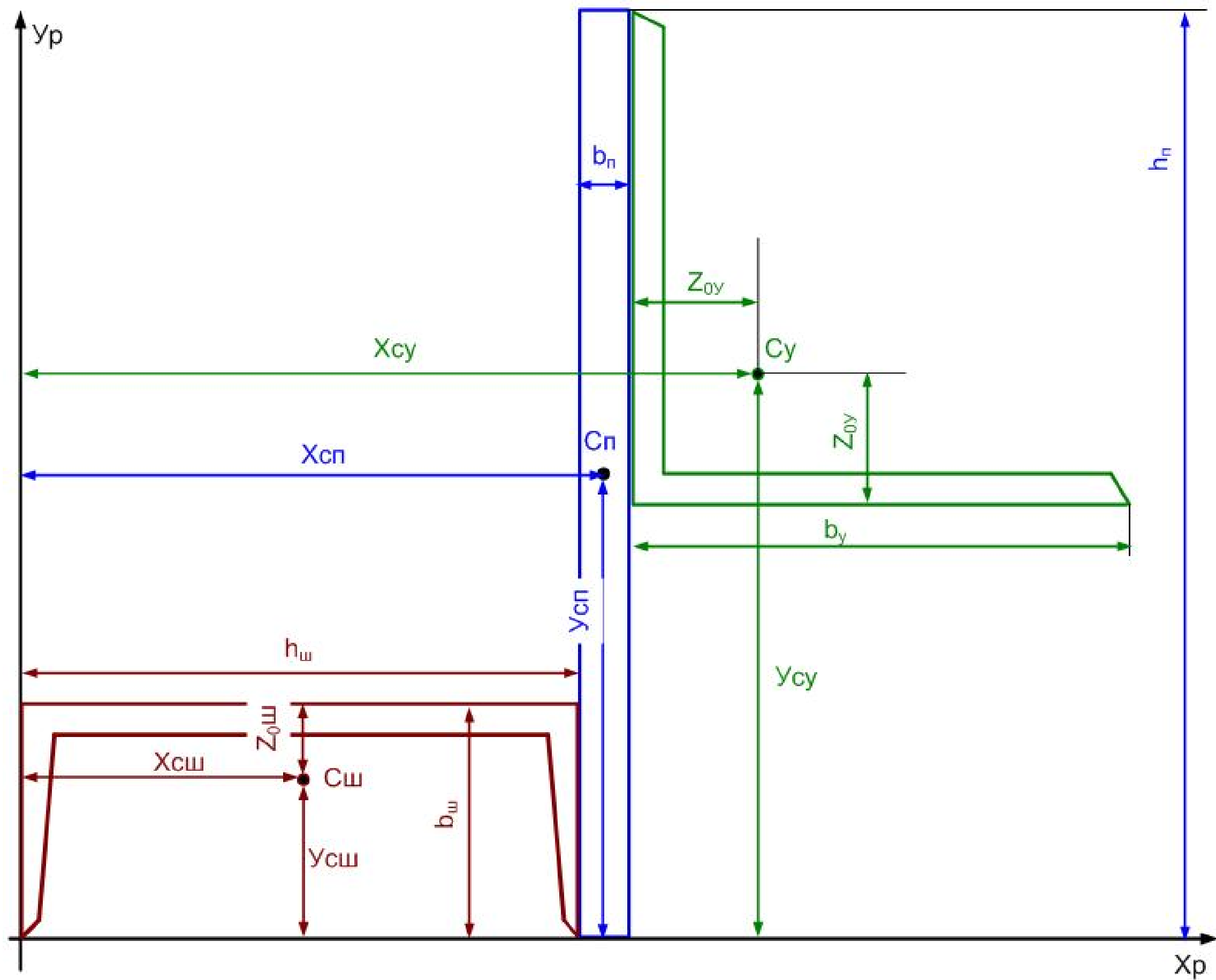


Рис. 5. Определение основных размеров элементов сечения относительно рабочих осей.

Рассчитаем статические моменты площади составного сечения относительно рабочих осей X_r и Y_r . Для этого сложим статические моменты всех элементов составного сечения, а каждый статический момент рассчитаем по формуле 1.

$$S_x = S_{xш} + S_{xp} + S_{xy} = Y_{сш} \cdot F_{ш} + Y_{сп} \cdot F_{п} + Y_{су} \cdot F_{п} = 5,27 \cdot 22,2 + 15 \cdot 48 + 18,3 \cdot 31,4 = 1411,6 \text{ см}^3.$$

$$S_y = S_{yш} + S_{yp} + S_{yy} = X_{сш} \cdot F_{ш} + X_{сп} \cdot F_{п} + X_{су} \cdot F_{п} = 9 \cdot 22,2 + 18,8 \cdot 48 + 23,9 \cdot 31,4 = 1852,6 \text{ см}^3.$$

Теперь по формуле 3 вычислим координаты центра тяжести составного сечения.

$$X_c = \frac{1852,6}{22,2 + 48 + 31,4} = 18,2 \text{ см} \quad Y_c = \frac{1411,6}{101,6} = 13,8 \text{ см}$$

Теперь определим расстояния между центром тяжести составного сечения и центром тяжести каждого его элемента.

$$a_{ш} = Y_c - Y_{сш} = 13,8 - 5,27 = 8,53 \text{ см.}$$

$$a_{п} = Y_c - Y_{сп} = 13,8 - 15 = -1,2 \text{ см.}$$

$$a_y = Y_c - Y_{су} = 13,8 - 18,3 = -4,5 \text{ см.}$$

Знак минус означает, что центр тяжести составного сечения оказался ниже центра тяжести данного его элемента.

$$b_{ш} = X_c - X_{сш} = 18,2 - 9 = 9,2 \text{ см.}$$

$$b_{п} = X_c - X_{сп} = 18,2 - 18,8 = -0,6 \text{ см.}$$

$$b_y = X_c - X_{су} = 18,2 - 23,9 = -5,7 \text{ см.}$$

Знак минус означает, что центр тяжести составного сечения оказался левее центра тяжести данного его элемента.

Вычисленные значения поместим в таблицу 2.

Таблица 2.

Результаты расчетов координат центров тяжести составного сечения

Название профиля	X_c , см	Y_c , см	a , см	b , см
Прямоугольник 1,6x30	18,8	15	-1,2	-0,6
Уголок №16(10)	23,9	18,3	-4,5	-5,7
Швеллер №18	9,0	5,27	8,53	9,2
Составное сечение	18,2	13,8	-	-

2.3. Определение моментов инерции составного сечения относительно центральных осей

На построенном ранее чертеже сечения (см. рис. 5) проведем центральные оси X_c и Y_c через центр тяжести составного сечения т. С, которые параллельны выбранным ранее рабочим осям X_r и Y_r .

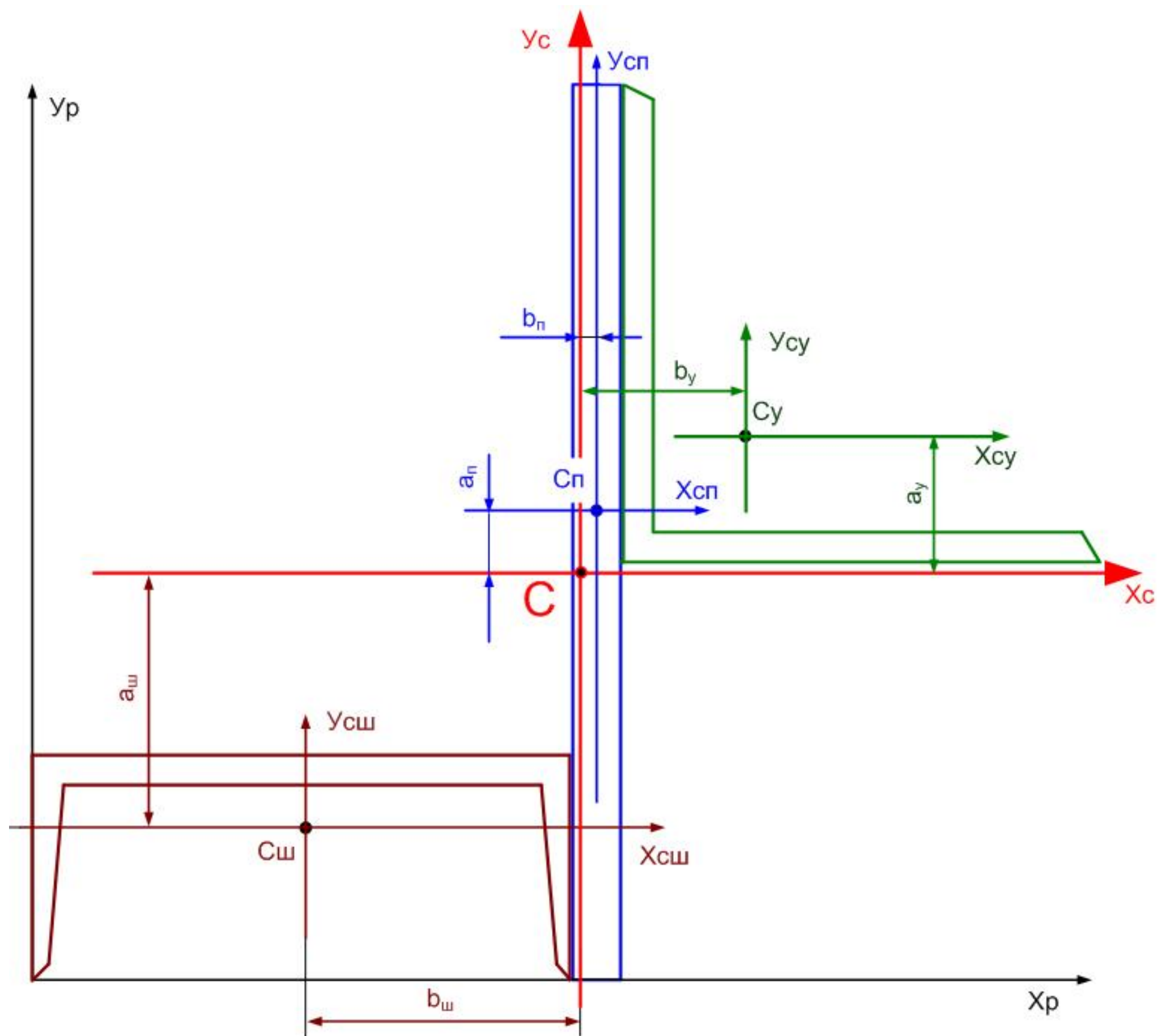


Рис. 6. Пояснения к расчету расстояний между центральными осями каждого элемента и всего составного сечения.

На рис. 6. показаны эти оси, а также показаны оси $X_{ш}$, $Y_{ш}$, $X_{сп}$, $Y_{сп}$, $X_{су}$, $Y_{су}$, относительно которых мы ранее определили моменты инерции и занесли в таблицу 1.

Зная моменты инерции швеллера, прямоугольника, уголка относительно этих осей (см. таблицу 1), мы можем вычислить моменты инерции для этих же фигур, но относительно новых осей X_c и Y_c , которые являются центральными осями для всего составного сечения. Оси $X_{ш}$, $Y_{ш}$, $X_{сп}$, $Y_{сп}$, $X_{су}$, $Y_{су}$ параллельны осям X_c и Y_c и поэтому для расчета моментов инерции относительно них, можно воспользоваться формулами параллельного переноса для осей координат.

Тогда моменты инерции для швеллера относительно осей X_c и Y_c будут равны.

$$I_{X_c}^{III} = I_{X_{ш}} + a_{ш}^2 \cdot F_{ш} = 105 + 8,53^2 \cdot 22,2 = 1720,29 \text{ см}^4$$

$$I_{Y_c}^{III} = I_{Y_{ш}} + b_{ш}^2 \cdot F_{ш} = 1190 + 9,2^2 \cdot 22,2 = 3069,01 \text{ см}^4$$

$$I_{X_c Y_c}^{III} = I_{X_{ш} Y_{ш}} + a_{ш} \cdot b_{ш} \cdot F_{ш} = 0 + 8,53 \cdot 9,2 \cdot 22,2 = 1742,17 \text{ см}^4$$

Тогда моменты инерции для прямоугольника относительно осей X_c и Y_c будут равны.

$$I_{X_c}^{II} = I_{X_{сп}} + a_{II}^2 \cdot F_{II} = 3600 + (-1,2)^2 \cdot 48 = 3669,12 \text{ см}^4$$

$$I_{Y_c}^{II} = I_{Y_{сп}} + b_{II}^2 \cdot F_{II} = 10,24 + (-0,6)^2 \cdot 48 = 27,52 \text{ см}^4$$

$$I_{X_c Y_c}^{II} = I_{X_{сп} Y_{сп}} + a_{II} \cdot b_{II} \cdot F_{II} = 0 + (-1,2) \cdot (-0,6) \cdot 48 = 34,56 \text{ см}^4$$

Тогда моменты инерции для уголка относительно осей X_c и Y_c будут равны.

$$I_{X_c}^Y = I_{X_{су}} + a_Y^2 \cdot F_Y = 744 + (-4,5)^2 \cdot 31,4 = 1379,85 \text{ см}^4$$

$$I_{Y_c}^Y = I_{Y_{су}} + b_Y^2 \cdot F_Y = 744 + (-5,7)^2 \cdot 31,4 = 1764,19 \text{ см}^4$$

$$I_{X_c Y_c}^Y = I_{X_{су} Y_{су}} + a_Y \cdot b_Y \cdot F_Y = -455 + (-4,5) \cdot (-5,7) \cdot 31,4 = 350,41 \text{ см}^4$$

Моменты инерции швеллера, прямоугольника и уголка рассчитаны относительно одних и тех же осей X_c и Y_c , поэтому их можно сложить. Тогда моменты инерции составного сечения относительно центральных осей X_c и Y_c равны сумме трех соответствующих моментов инерции.

$$I_{X_c} = 1720,29 + 3669,12 + 1379,85 = 6769,26$$

$$I_{Y_c} = 3069,01 + 27,52 + 1764,19 = 4860,72$$

$$I_{X_c Y_c} = 1742,17 + 34,56 + 350,41 = 2127,14$$

2.4. Определение положения главных осей и вычисление главных моментов инерции

По формуле 9 определяем угол, на который следует повернуть центральные оси X_c и Y_c , чтобы они стали главными центральными осями сечения:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2 \cdot 2127,14}{4860,72 - 6769,26} = -2,2291$$

Отсюда можно определить величину угла, вычислив арктангенс от числа -2,2291 и разделив результат пополам:

$$\alpha_0 = -32,92^\circ (-32^\circ 55')$$

Знак минус говорит о том, что поворот центральных осей нужно выполнить **по направлению хода часовой стрелки**.

Нанесем оси X_0 и Y_0 на чертеж, поворачивая оси X_c и Y_c на угол α_0 по часовой стрелке.

Теперь осталось последнее – используя формулы поворота осей координат 9, вычисляем главные моменты инерции составного сечения.

$$I_{x_0} = 6769,26 \cdot \cos^2(-32,92^\circ) + 4860,72 \cdot \sin^2(-32,92^\circ) - 2127,14 \cdot \sin(2 \cdot (-32,92^\circ)) = 8146,37 \text{ см}^4$$

$$I_{y_0} = 4860,72 \cdot \cos^2(-32,92^\circ) + 6769,26 \cdot \sin^2(-32,92^\circ) + 2127,14 \cdot \sin(2 \cdot (-32,92^\circ)) = 3483,61 \text{ см}^4$$

$$I_{x_0 y_0} = 2127,14 \cdot \cos(2 \cdot (-32,92^\circ)) + \frac{6769,26 - 4860,72}{2} \cdot \sin(2 \cdot (-32,92^\circ)) = -0,07 \approx 0$$

Наибольшим стал момент инерции относительно оси X_0 :

$$I_{x_0} = 8146,37 \text{ см}^4.$$

Момент инерции относительно оси Y_0 является экстремально минимальным моментом инерции заданного составного сечения

$$I_{y_0} = 3483,61 \text{ см}^4.$$

Центробежный момент инерции относительно осей X_0 и Y_0 оказался равным нулю. Равенство нулю центробежного момента инерции является механизмом проверки правильности решения задачи: центробежный момент равен нулю относительно главных осей сечения.

Чтобы обеспечить наибольшую жесткость сечения при изгибе, следует внешнюю изгибающую силу P приложить так, чтобы изгиб происходил вокруг оси X_0 , т.е. силу нужно приложить вдоль оси Y_0 так, как это показано на рис. 7.

Эти заключения можно привести в качестве вывода по данной лабораторной работе

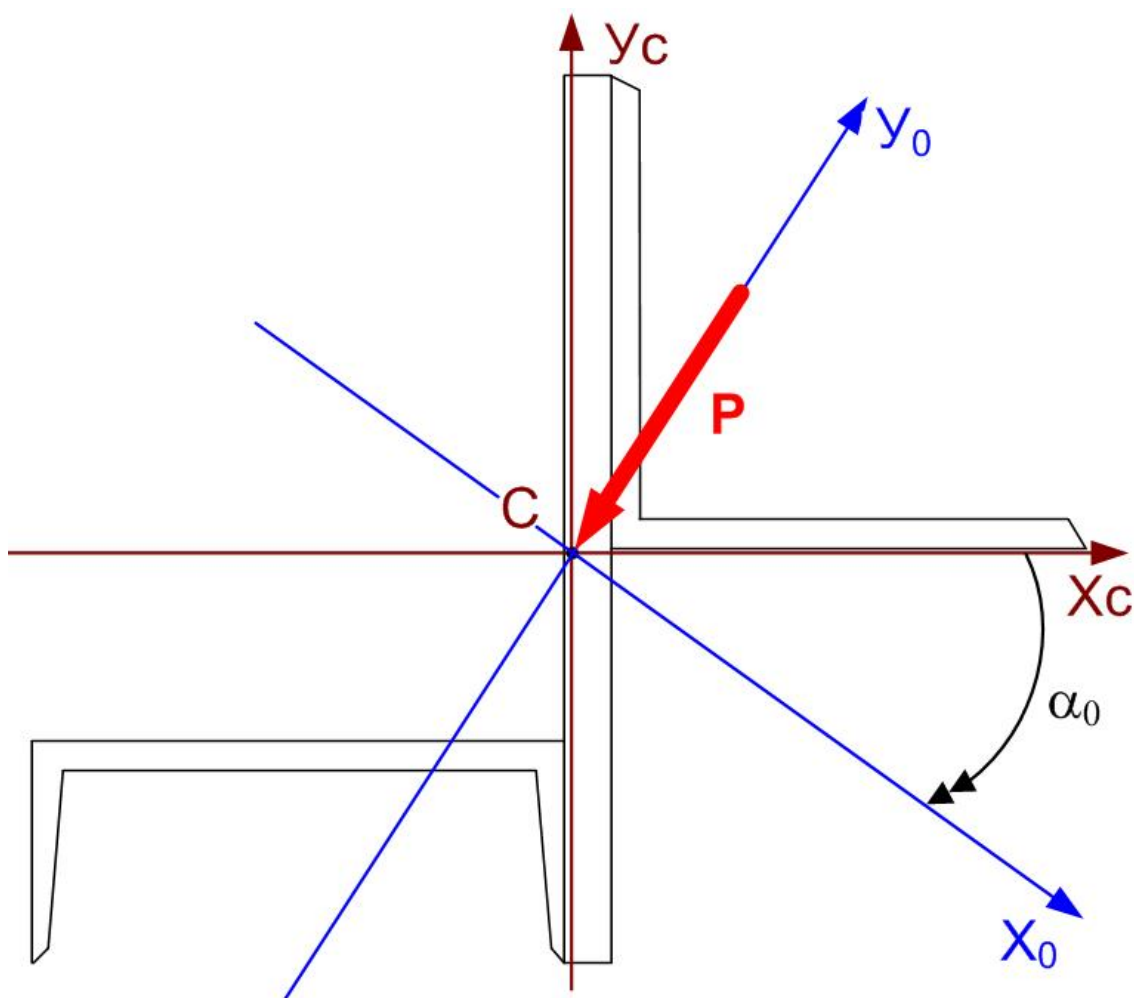


Рис. 7. Положение главных центральных осей составного сечения.

3. Варианты заданий к лабораторной работе

Работа выполняется побригадно.

Номер студента в списке группы	Номер схемы (бригады)
1 - 3	1
4 - 6	2
7 - 9	3
10 - 12	4
13 - 15	5

Если геометрические построения планируете выполнять в графическом редакторе MS Visio, то вычерчивать нужно в масштабе 1:1, но распечатывать на бумаге А4 в масштабе 1:2 или распечатывать на двух листах А4 с последующей склейкой.

Схема 1

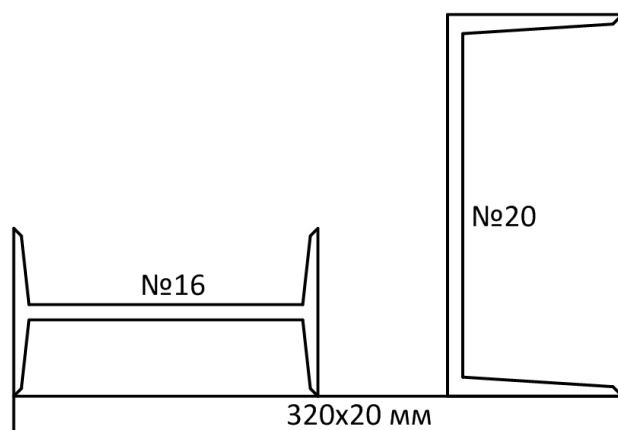


Схема 2

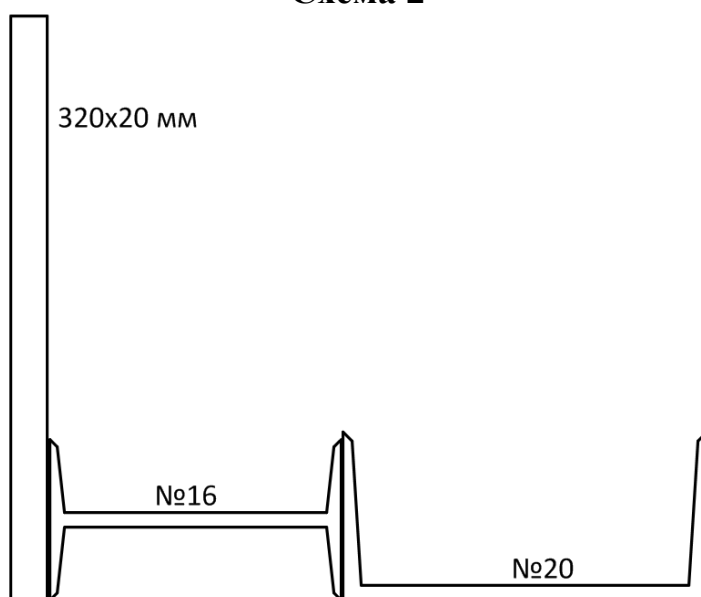


Схема 3

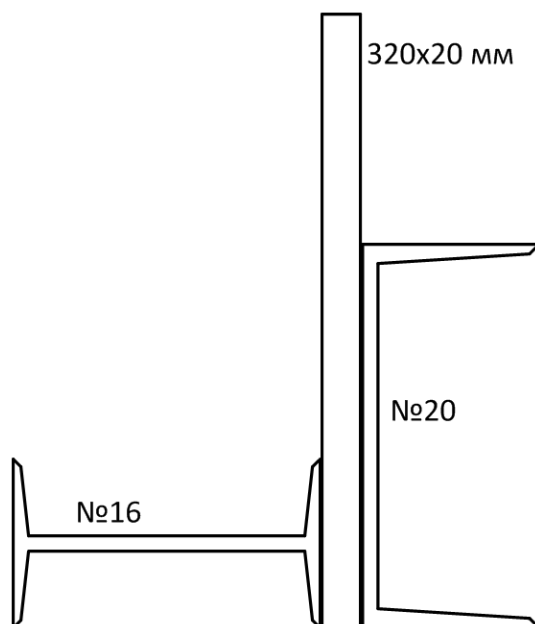


Схема 4

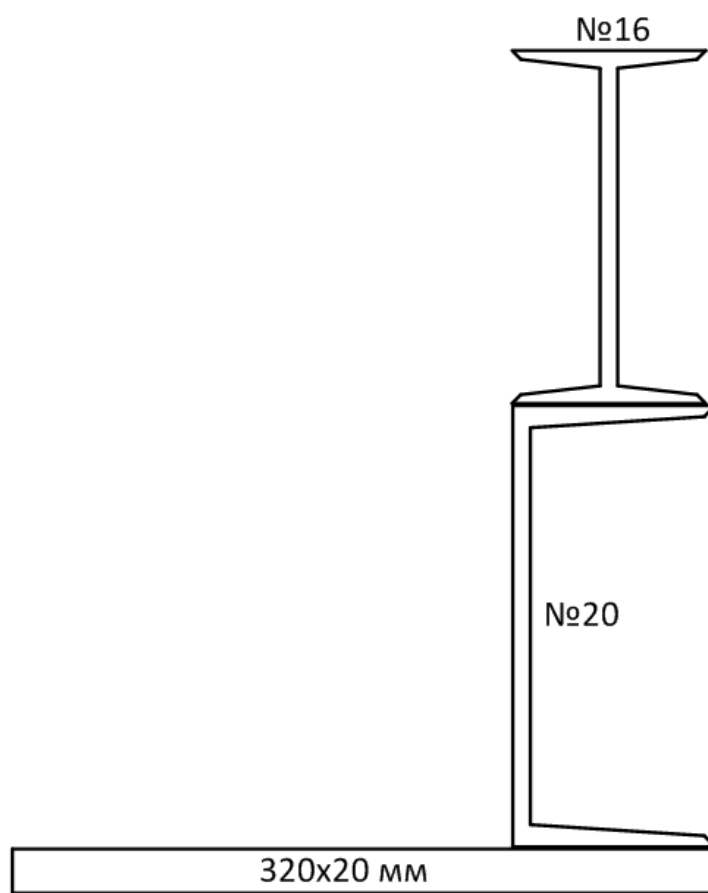
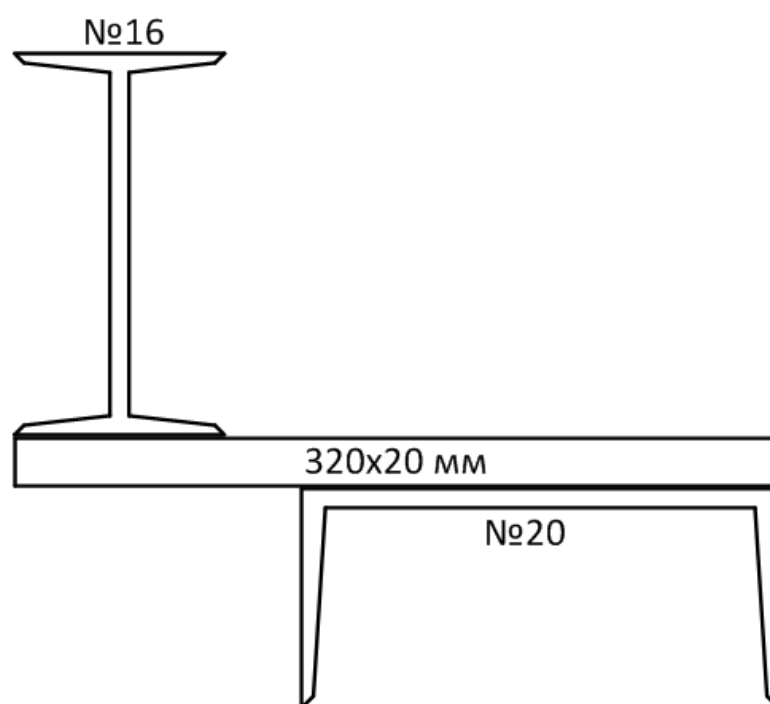
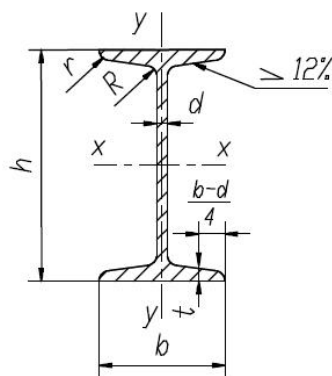


Схема 5



Приложения



СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ

Балки двутавровые (по ГОСТ 8239 – 72)

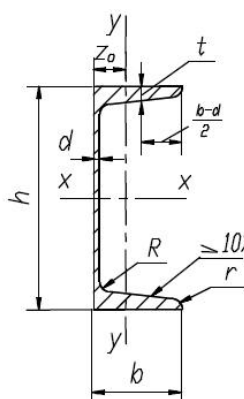
Обозначения:

h – высота балки;
 b – ширина полки;
 d – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;

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

Таблица П.1

Номер профиля	Размеры, мм				Площадь сечения F , см ²	I_x , см ⁴	W_{x1} , см ³	i_x , см	S_x , см ³	I_y , см ⁴	W_{y1} , см ³	i_y , см	Масса 1 м, кг
	h	b	d	t									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22	9,46
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38	11,5
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55	13,7
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70	15,9



Швеллеры (по ГОСТ 8240 – 72)

Обозначения:

h – высота швеллера;
 b – ширина полки;
 d – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;
 z_o – расстояние от оси y до наружной грани стенки.

I – момент инерции;
 W – момент сопротивления;
 i – радиус инерции;
 S – статический момент полусечения;

Таблица П.2

Номер профиля	Размеры, мм				Площадь сечения F , см ²	I_x , см ⁴	W_{x1} , см ³	i_x , см	S_x , см ³	I_y , см ⁴	W_{y1} , см ³	i_y , см	z_o , см	Масса 1 м, кг
	h	b	d	t										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,10	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16	4,84
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24	5,90
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31	7,05
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44	8,59
16	160	64	5,0	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80	14,2
18	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94	16,3
20	200	76	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07	18,4