

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности 1-36 07 02
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 339.138
ББК 65.290-2
М27

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим управлением
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «03» октября 2021 г.,
протокол № 3

Составители: канд. техн. наук, доц. А. А. Катькало;
канд. техн. наук, доц. И. А. Леонович

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Методические рекомендации содержат варианты заданий, требования и справочные материалы к курсовой работе «Расчет на внецентренное сжатие и устойчивость» по дисциплине «Механика материалов и конструкций» для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	Т. А. Рыжикова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Общие требования к выполнению курсовой работы.....	5
1.1 Объем и содержание курсовой работы.....	5
1.2 Требования к оформлению курсовой работы.....	5
1.3 Порядок выполнения курсовой работы.....	6
2 Особенности расчета внецентренно сжатой колонны	
на прочность.....	7
2.1 План выполнения расчета.....	7
2.2 Пример выполнения расчета.....	8
3 Особенности расчета центрально-сжатой колонны на	
устойчивость.....	16
3.1 План выполнения расчета.....	17
3.2 Пример выполнения расчета.....	19
Список литературы.....	27
Приложение А.....	28
Приложение Б.....	29
Приложение В.....	30
Приложение Г.....	32
Приложение Д. Геометрические характеристики простых сечений...	35
Приложение Е. Сокращенный сортамент прокатной стали.....	36
Приложение Ж. Механические характеристики стали.....	43

Введение

Студенты специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» выполняют курсовую работу по дисциплине «Механика материалов и конструкций» в 4-м семестре.

В курсовой работе представлены все виды расчетов (проверочный, проектировочный и определение допустимой нагрузки) для типового элемента конструкций (бруса) на примере колонн разных механических свойств.

В первой части курсовой работы рассматривается расчет на прочность колонны малой гибкости, испытывающей внецентренное сжатие. Материал колонны по-разному сопротивляется растяжению и сжатию. Дополнительно для такой колонны строится ядро сечения, чтобы определить область приложения сжимающей силы, которая исключит возникновение растягивающих напряжений.

Во второй части курсовой работы рассматривается расчет на устойчивость стальной колонны средней и большой гибкости (проектировочный расчет), испытывающей центральное сжатие. Дополнительно определяются величина критической силы, при которой происходит потеря устойчивости колонны, и коэффициент запаса на устойчивость.

Выполнение курсовой работы позволяет студентам закрепить теоретические знания и получить практические навыки по особенностям расчета колонн разной гибкости при сжимающей нагрузке. Не менее важной задачей является умение использовать нормативную документацию по оформлению текстовых и графических работ, информацию, полученную на лекциях, практических занятиях и на лабораторных работах при выполнении расчетных задач с элементами проектирования.

К целям курсовой работы относится также формирование у студентов компетенции БПК-6: «Быть способным выбрать конструктивную часть и форму элементов конструкций, расчетные схемы технических конструкций, производить расчеты технических конструкций и их элементов на прочность, жесткость и устойчивость».

1 Общие требования к выполнению курсовой работы

1.1 Объем и содержание курсовой работы

Расчетно-графическая записка включает: титульный лист, лист-задание, содержание, основную часть, список использованной литературы.

Титульный лист оформляется в соответствии с рисунком А.1.

Лист-задание оформляется студентом в соответствии с выданным вариантом (рисунок Б.1).

Содержание разделов курсовой работы.

Введение (определение предмета «Механика материалов и конструкций», цели и задачи курсовой работы).

1 Расчет колонны на внецентренное сжатие.

1.1 Теоретические основы расчета стержней на внецентренное сжатие.

1.2 Определение геометрических характеристик поперечного сечения колонны.

1.3 Определение положения нейтральной оси.

1.4 Проверка прочности колонны при заданной нагрузке.

1.5 Определение допустимой сжимающей силы.

1.6 Построение ядра сечения.

Заключение.

2 Расчет колонны на устойчивость.

2.1 Теоретические основы расчета стержней на устойчивость.

2.2 Подбор поперечного сечения по условию устойчивости.

2.3 Проверка подобранного сечения на устойчивость.

2.4 Определение критической силы.

2.5 Вычисление коэффициента запаса на устойчивость.

Заключение.

Список использованной литературы.

Перечень иллюстраций в расчетной части курсовой работы.

Рисунок 1.1 – Схема нагружения и размеры поперечного сечения колонны.

Рисунок 1.2 – Разбиение поперечного сечения колонны на отдельные фигуры.

Рисунок 1.3 – Нейтральная ось и эпюра нормальных напряжений для опасных точек сечения.

Рисунок 1.1 – Ядро поперечного сечения колонны.

Рисунок 2.1 – Схема закрепления и вид поперечного сечения колонны.

Рисунок 2.2 – Поперечное сечение колонны.

Объем курсовой работы – 20–30 страниц. Трудоемкость курсовой работы составляет 20 ч.

1.2 Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа выполняется на листах формата А4 (297 × 210 мм), рабочее поле которого ограничивается рамкой. Текстовый материал оформляется согласно ГОСТ 2.105–95 и ГОСТ 7.1–2003.

Текст работы делится на разделы и подразделы. Каждый раздел следует начинать с нового листа с указанием заголовка и исходных данных задачи (что дано и что требуется сделать). Первым листом работы является лист с содержанием, основная надпись которого выполнена по форме 2 ГОСТ 2.104–68. Все последующие листы выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа.

Текстовая часть печатается на принтерных устройствах ЭВМ с одной стороны листа.

Формулы оформляются в редакторе Math Type на отдельной строке, сначала в общем виде, затем в числовой подстановке входящих величин (см. примеры выполнения). Все вычисления должны выполняться с точностью до трех значащих цифр в СИ. Расчет геометрических характеристик удобнее вести в сантиметрах с последующим переводом в метры соответствующей степени.

Схемы и рисунки должны быть выполнены строго в выбранных масштабах с помощью чертежных инструментов карандашом или на компьютере. На рисунках все размеры указываются в миллиметрах (размерность не пишется по умолчанию), величина нагрузок указывается в заданных единицах измерения.

Не разрешается стирать вопросы или замечания, сделанные преподавателем. Исправления проводятся на обратной стороне предыдущего листа в соответствующем месте расчета.

Задание, оформленное с нарушением данных указаний, не принимается на проверку.

1.3 Порядок выполнения курсовой работы

Порядок выполнения курсовой работы следующий:

- получить у преподавателя исходные данные к выполнению курсовой работы, дооформить лист-задание;
- изучить теоретические положения рассматриваемой темы и ознакомиться с решением типовых задач;
- произвести расчет в соответствии с исходными данными и оформить расчетно-графическую записку;
- сдать курсовую работу на проверку преподавателю, при необходимости выполнить исправления по замечаниям, указанным преподавателем;
- защитить курсовую работу. Для защиты курсовой работы студенту необходимо ответить на теоретические и практические вопросы или решить задачу по теме курсовой работы.

Номер строки исходных данных к каждой задаче берется в соответствии с вариантом, указанным преподавателем (рисунки В.1 и Г.1).

Значения геометрических характеристик представлены на рисунках Е.1–Е.4 и в таблицах Е.1–Е.4.

Значения механических характеристик указанной в задании стали для расчета на устойчивость следует взять в таблице Ж.1. Модуль продольной упругости для всех марок сталей принять равным $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

2 Особенности расчета внецентренно сжатой колонны на прочность

В курсовой работе для колонны заданного поперечного сечения, находящейся под действием внецентренно приложенной сжимающей силы, требуется:

- проверить прочность при заданной нагрузке;
- определить допустимую сжимающую силу;
- построить ядро сечения.

Для такого вида нагружения характерно линейное распределение нормальных напряжений в поперечном сечении колонны. Опасными точками, в которых будут действовать максимальные напряжения, будут точки, наиболее удаленные от нейтральной оси. Поэтому очень важно правильно определить ее местоположение. Следует внимательно определять геометрические характеристики поперечного сечения (центр тяжести, площадь, моменты инерции и квадраты радиусов инерции) и координаты точек.

Для материала, который по разному сопротивляется растяжению и сжатию, важно знать, будет ли пересекать нейтральная ось поперечное сечение или будет находиться за его пределами. От этого зависит и проверочный расчет на прочность, и определение допустимой нагрузки. Именно для такого материала определяются размеры и конфигурация ядра сечения.

Основные положения теории расчета стержней на внецентренное сжатие следует смотреть в рекомендуемой литературе [1–10].

2.1 План выполнения расчета

1 Вычертить поперечное сечение колонны **в масштабе** в соответствии с исходными данными. Размеры на чертеже указываются в миллиметрах, тогда единицы измерения ставить не надо.

2 Разбить заданное поперечное сечение на простые геометрические фигуры, пронумеровать их, и указать на каждой положение центра тяжести.

3 Определить положение центра тяжести всего поперечного сечения (координаты x_c , y_c) относительно произвольно выбранных осей отсчета (начальных осей).

4 Указать на поперечном сечении все центральные оси: общие (для всего сечения) и частные (для каждой простой фигуры). Рассчитать межосевые расстояния между частными и общими осями (c_i и d_i) и показать их на рисунке.

5 Определить главные центральные моменты инерции поперечного сечения колонны.

6 Определить квадраты радиусов инерции поперечного сечения колонны.

7 Определить положение нейтральной (нулевой) оси, рассчитав величины отрезков, отсекаемых нейтральной осью на главных центральных осях инерции сечения. Отложить на рисунке с поперечным сечением отрезки X_0 и Y_0 в масштабе. Через найденные две точки пересечения провести нейтральную линию.

8 Показать опасные точки на рисунке с указанием их координат (x и y) от-

носителю главных центральных осей инерции сечения. Учитывая, что закон распределения напряжений в поперечном сечении линейный, опасными точками будут такие, которые располагаются дальше всего от нейтральной оси.

9 Определить значения наибольших сжимающих и растягивающих напряжений в опасных точках. По полученным значениям напряжений построить эпюру нормальных напряжений.

10 Произвести проверку прочности материала в опасных точках по условиям прочности. Дать заключение о прочности колонны.

11 Из условий прочности на растяжение и сжатие определить величину допустимой силы $[F]$. Из двух полученных значений требуется выбрать такую силу в качестве окончательного ответа, при которой будут выполняться оба условия прочности: на растяжение и сжатие.

12 Построить ядро сечения. Для этого необходимо рассмотреть все возможные положения касательных линий к контуру сечения. Определить отрезки, отсекаемые касательными на главных центральных осях: X_0 , Y_0 .

13 Выполнить чертеж поперечного сечения в масштабе, на котором показать касательные линии к его контуру, отрезки X_0 , Y_0 в миллиметрах. Оформить ядро сечения, для чего соединить все рассчитанные точки прямыми линиями, заштриховать полученную фигуру. На этом же рисунке указать положение нейтральной оси.

2.2 Пример выполнения расчета

Исходные данные: колонна заданного поперечного сечения находится под действием сжимающей силы $F = 90$ кН (рисунок 2.1).

Допустимое напряжение материала на растяжение $[\sigma]_{\text{раст}} = 4$ МПа; допустимое напряжение на сжатие $[\sigma]_{\text{сж}} = 20$ МПа.

Требуется:

- проверить прочность колонны;
- определить допустимую силу $[F]$;
- построить ядро сечения.

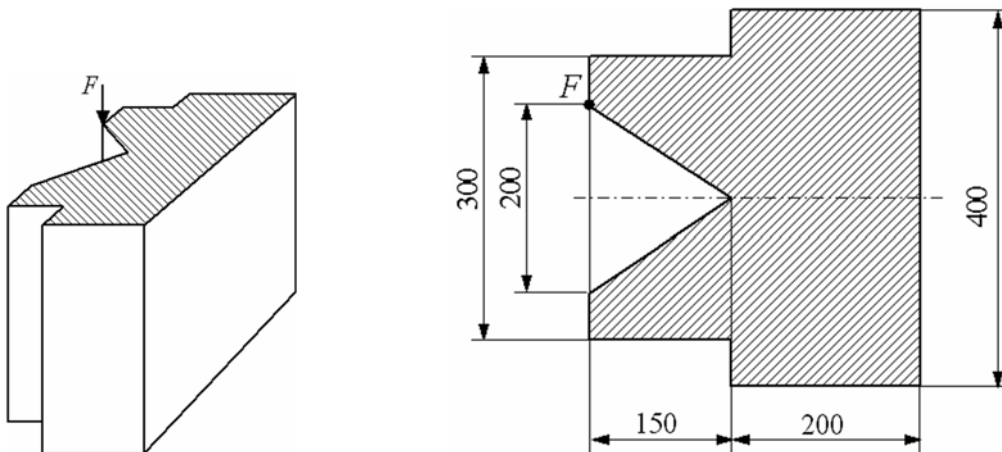


Рисунок 2.1 – Схема нагружения и размеры поперечного сечения колонны

Определим геометрические характеристики поперечного сечения.

Заданное поперечное сечение разбиваем на прямоугольники 1, 2 и равнобедренный треугольник 3 (рисунок 2.2). Расчеты геометрических характеристик удобнее вести в сантиметрах.

Площадь поперечного сечения определится следующим образом:

$$A_1 = 20 \cdot 40 = 800 \text{ см}^2;$$

$$A_2 = 15 \cdot 30 = 450 \text{ см}^2;$$

$$A_3 = 0,5 \cdot 20 \cdot 15 = 150 \text{ см}^2;$$

$$A = A_1 + A_2 - A_3 = 800 + 450 - 150 = 1100 \text{ см}^2.$$

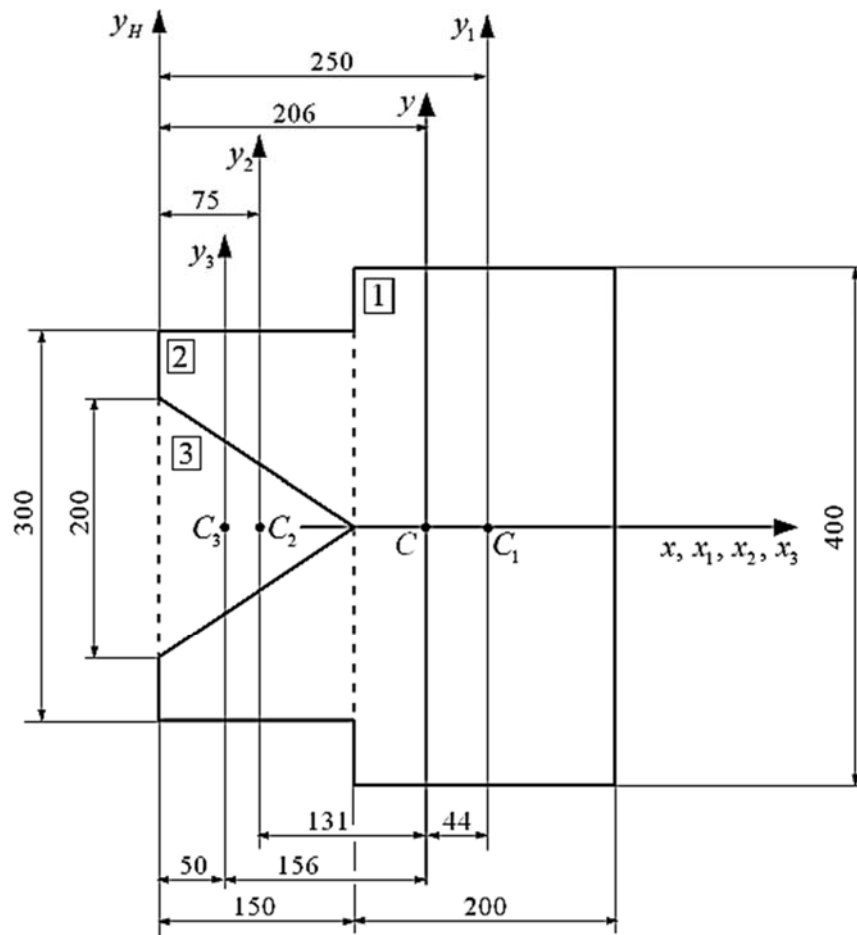


Рисунок 2.2 – Разбиение поперечного сечения колонны на отдельные фигуры

Определим положение центра тяжести поперечного сечения относительно начальных осей y_H . В данном сечении ось x является осью симметрии (главной центральной осью инерции), поэтому координата центра тяжести этого сечения $y_C = 0$.

$$x_C = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 - x_3 A_3}{A} = \frac{25 \cdot 800 + 7,5 \cdot 450 - 5 \cdot 150}{1100} = 20,6 \text{ см},$$

где x_1, x_2, x_3 – координаты центров тяжести прямоугольников 1, 2 и треугольника 3 относительно начальной оси y_H .

Через найденный центр тяжести проводим вторую главную центральную ось инерции сечения – y .

Определим главные центральные моменты инерции сечения относительно осей x, y по следующим формулам:

$$I_x = (I_{x_1} + c_1^2 A_1) + (I_{x_2} + c_2^2 A_2) - (I_{x_3} + c_3^2 A_3);$$

$$I_y = (I_{y_1} + d_1^2 A_1) + (I_{y_2} + d_2^2 A_2) - (I_{y_3} + d_3^2 A_3),$$

где $I_{x_1}, I_{x_2}, I_{x_3}, I_{y_1}, I_{y_2}, I_{y_3}$ – моменты инерции простых фигур относительно собственных главных центральных осей (таблица Д.1);

c_i, d_i – межосевые расстояния.

Расстояния между главной центральной осью x и осями x_1, x_2, x_3 в данном примере отсутствуют, следовательно, $c_1 = c_2 = c_3 = 0$.

$$I_x = \frac{20 \cdot 40^3}{12} + \frac{15 \cdot 30^3}{12} - \frac{15 \cdot 20^3}{48} = 137917 \text{ см}^4.$$

Расстояния от главной центральной оси инерции y до осей y_1, y_2, y_3 соответственно (см. рисунок 2.2):

$$d_1 = y_1 - y_C = 25 - 20,6 = 4,4 \text{ см};$$

$$d_2 = y_C - y_2 = 20,6 - 7,5 = 13,1 \text{ см};$$

$$d_3 = y_C - y_3 = 20,6 - 5 = 15,6 \text{ см}.$$

$$I_y = \left(\frac{40 \cdot 20^3}{12} + 4,4^2 \cdot 800 \right) + \left(\frac{30 \cdot 15^3}{12} + 13,1^2 \cdot 450 \right) - \left(\frac{20 \cdot 15^3}{36} + 15,6^2 \cdot 150 \right) = 89438 \text{ см}^4.$$

Определим квадраты радиусов инерции поперечного сечения:

$$i_x^2 = \frac{I_x}{A} = \frac{137917}{1100} = 125,4 \text{ см}^2;$$

$$i_y^2 = \frac{I_y}{A} = \frac{89438}{1100} = 81,3 \text{ см}^2.$$

Определим положение нейтральной оси.

Координаты точки приложения силы относительно главных центральных осей инерции сечения xu (рисунок 2.3, точка F):

$$x_F = -20,6 \text{ см}; \quad y_F = 10 \text{ см}.$$

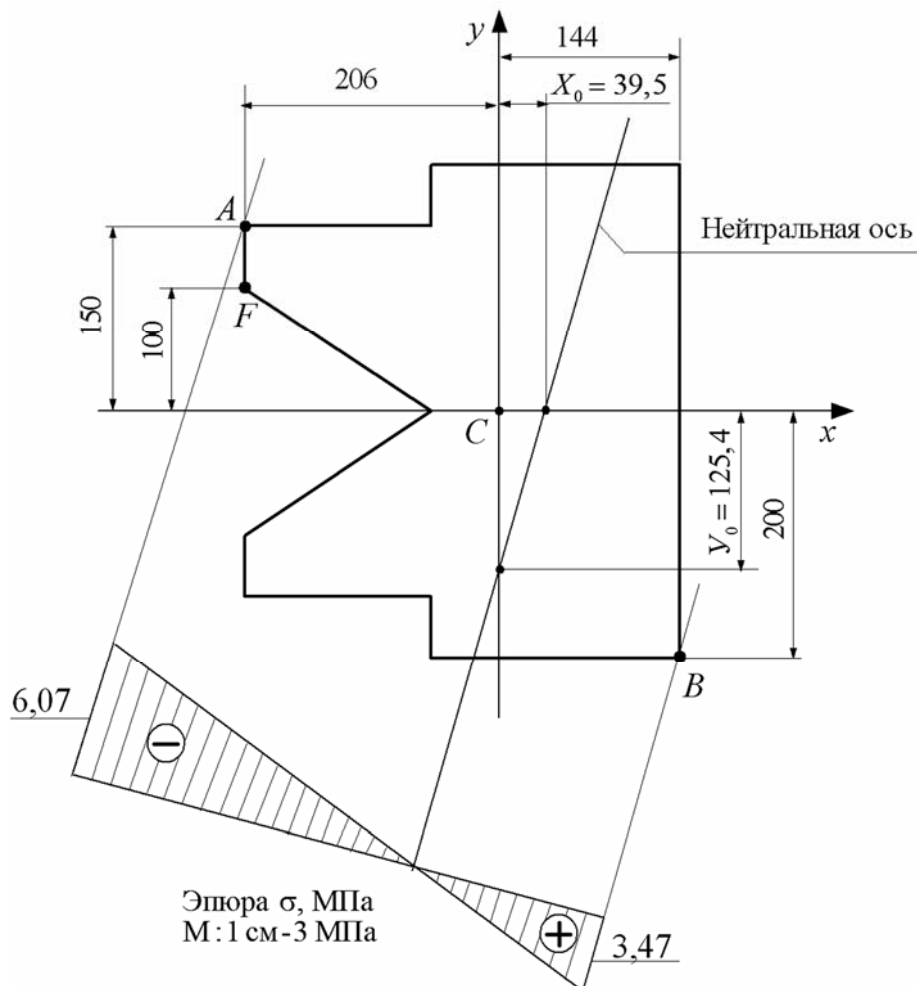


Рисунок 2.3 – Нейтральная ось и эпюра нормальных напряжений для опасных точек сечения

Определим величину отрезков, отсекаемых нейтральной осью на главных центральных осях инерции, следующим образом:

$$X_0 = -\frac{i_y^2}{x_F} = -\frac{81,3}{-20,6} = 3,95 \text{ см};$$

$$Y_0 = -\frac{i_x^2}{y_F} = -\frac{125,4}{10} = -12,54 \text{ см}.$$

Через точки пересечения проводим нейтральную ось (см. рисунок 2.3).

Проверим прочность колонны при заданной нагрузке.

Опасными точками являются точки, наиболее удаленные от нейтральной оси: в сжатой области точка A , в растянутой области точка B . Их координаты:

$$x_A = -20,6 \text{ см}, y_A = 15 \text{ см}.$$

$$x_B = 14,4 \text{ см}, y_B = -20 \text{ см}.$$

Вычислим величину нормальных напряжений в опасных точках с координатами x и y по формуле

$$\sigma_{\max} = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{x_F \cdot x}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y}{i_x^2} \right).$$

Величина максимальных напряжений в сжатой области

$$\begin{aligned} \sigma_{\max}^{сж} = \sigma_A &= -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{(-20,6) \cdot (-20,6)}{81,3} + \frac{10 \cdot 15}{125,4} \right) = \\ &= -\frac{90 \cdot 10^3}{1100 \cdot 10^{-4}} \cdot 7,42 = -6,07 \cdot 10^6 \text{ Па} = -6,07 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Величина максимальных напряжений в растянутой области

$$\begin{aligned} \sigma_{\max}^{раст} = \sigma_B &= -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{(-20,6) \cdot 14,4}{81,3} + \frac{10 \cdot (-20)}{125,4} \right) = \\ &= -\frac{90 \cdot 10^3}{1100 \cdot 10^{-4}} \cdot (-4,24) = 3,47 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3,47 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

По полученным значениям строим эпюру нормальных напряжений (см. рисунок 2.3).

Проверим прочность колонны в сжатой области:

$$\sigma_{сж}^{\max} = \sigma_A = 6,07 \text{ МПа} < [\sigma]_{сж} = 20 \text{ МПа}.$$

Проверим прочность колонны в растянутой области:

$$\sigma_{расм}^{\max} = \sigma_B = 3,47 \text{ МПа} < [\sigma]_{расм} = 4 \text{ МПа}.$$

Так как условия прочности выполняются, то прочность колонны обеспечена.

Определим допустимую сжимающую силу.

Расчет производим из условий прочности для сжатой и растянутой областей по отдельности, т. к. проверка прочности не выявила, какая из точек (A или B) более опасная.

Условие прочности для сжатой области (точка A)

$$\sigma_{\max}^{сж} = \sigma_A = -\frac{[F]_A}{A} \cdot \left(1 + \frac{(-20,6) \cdot (-20,6)}{81,3} + \frac{10 \cdot 15}{125,4} \right) = -\frac{[F]_A}{A} \cdot 7,42 \leq [\sigma]_{сж}.$$

$$[F]_A \leq \frac{A \cdot [\sigma]_{сж}}{7,42} = \frac{1100 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1}{7,42} = 296,5 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Условие прочности для растянутой области (точка B)

$$\sigma_{\max}^{расм} = \sigma_B = -\frac{[F]_B}{A} \cdot \left(1 + \frac{(-20,6) \cdot 14,4}{81,3} + \frac{10 \cdot (-20)}{125,4} \right) = -\frac{[F]_B}{A} \cdot 4,24 \leq [\sigma]_{расм}.$$

$$[F]_B \leq \frac{A \cdot [\sigma]_{расм}}{4,24} = \frac{1100 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 1}{4,24} = 103,8 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Допустимой сжимающей силой, приложенной в указанной точке, будет меньшая из рассчитанных сил: $[F] = 103,8 \text{ кН}$.

Построение ядра поперечного сечения колонны.

Строим ядро сечения колонны, определяя координаты его угловых точек по следующим формулам:

$$x_{я} = -\frac{i_y^2}{X_0}; \quad y_{я} = -\frac{i_x^2}{Y_0},$$

где X_0 , Y_0 – отрезки, отсекаемые на главных центральных осях инерции касательными к контуру поперечного сечения колонны (рисунок 2.4).

Точка 1 (касательная 1–1)

$$X_0 = -20,6 \text{ см}, \quad Y_0 = \infty;$$

$$x_{я} = - \frac{81,3}{-20,6} = 3,9 \text{ см}, \quad y_{я} = - \frac{125,4}{\infty} = 0.$$

Точка 2 (касательная 2–2)

Производим расчет отрезков X_0 , Y_0 (см. рисунок 2.4):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{5}{15} = \frac{15}{x'}; \quad x' = \frac{15 \cdot 15}{5} = 45 \text{ см};$$

$$X_0 = -(45 + 20,6) = -65,6 \text{ см};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{5}{15} = \frac{Y_0}{X_0}; \quad Y_0 = \frac{5X_0}{15} = \frac{65,6}{3} = 21,87 \text{ см};$$

$$x_{я} = - \frac{81,3}{-65,6} = 1,24 \text{ см}, \quad y_{я} = - \frac{125,4}{21,87} = -5,73 \text{ см}.$$

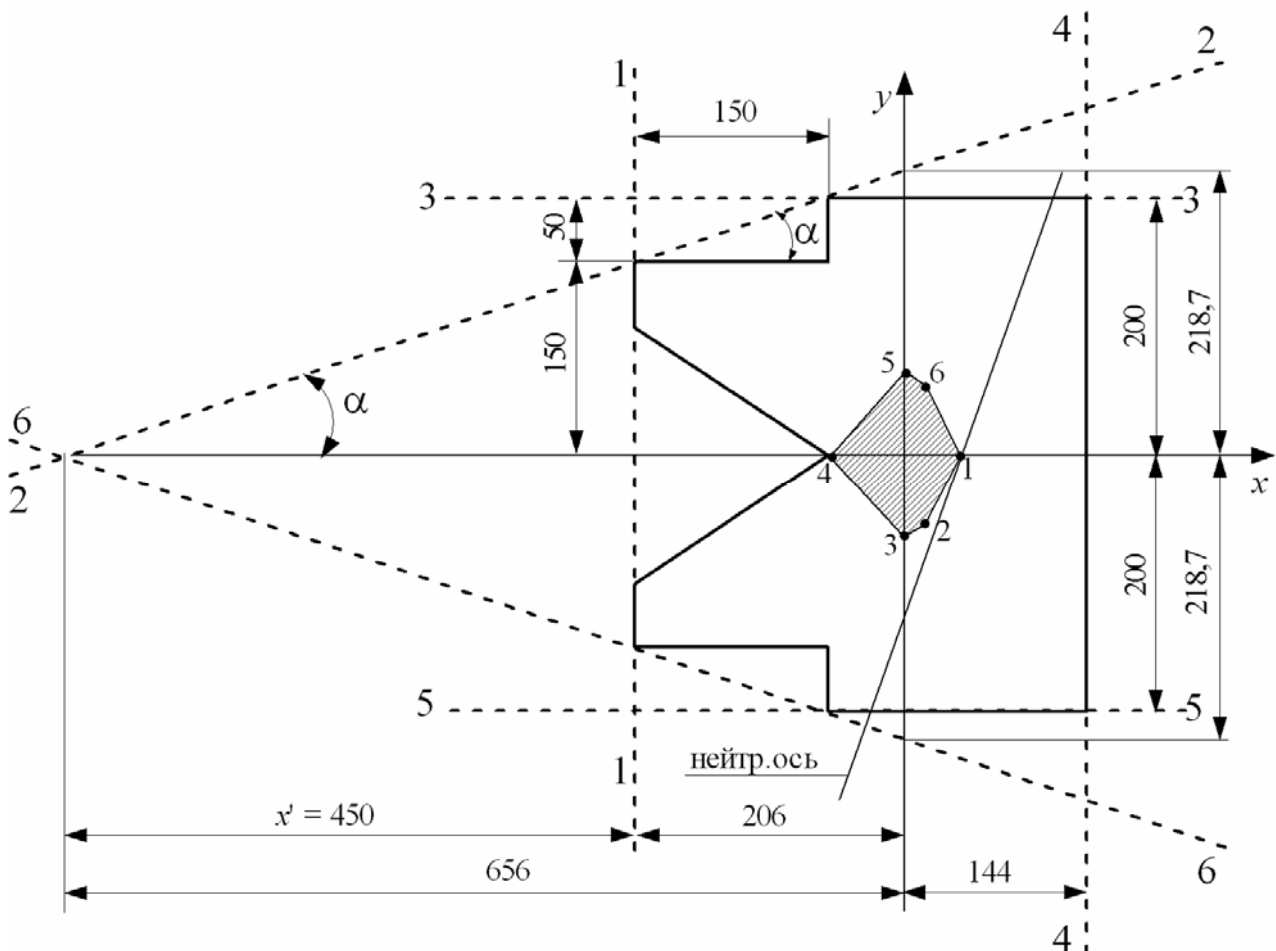


Рисунок 2.4 – Ядро поперечного сечения колонны

Точка 3 (касательная 3–3)

$$X_0 = \infty, \quad Y_0 = 20 \text{ см};$$

$$x_{\text{я}} = -\frac{81,3}{\infty} = 0, \quad y_{\text{я}} = -\frac{125,4}{20} = -6,27 \text{ см.}$$

Точка 4 (касательная 4–4)

$$X_0 = 14,4 \text{ см}, \quad Y_0 = \infty;$$

$$x_{\text{я}} = -\frac{81,3}{14,4} = -5,65 \text{ см}, \quad y_{\text{я}} = -\frac{125,4}{\infty} = 0.$$

Точка 5 (касательная 5–5)

$$X_0 = \infty, \quad Y_0 = -20 \text{ см};$$

$$x_{\text{я}} = -\frac{81,3}{\infty} = 0, \quad y_{\text{я}} = -\frac{125,4}{-20} = 6,27 \text{ см.}$$

Точка 6 (касательная 6–6 – симметрично касательной 2–2)

$$X_0 = -65,6 \text{ см}, \quad Y_0 = -21,87 \text{ см};$$

$$x_{\text{я}} = -\frac{81,3}{-65,6} = 1,24 \text{ см}, \quad y_{\text{я}} = -\frac{125,4}{-21,87} = 5,73 \text{ см.}$$

Оформим ядро сечения, соединив все угловые точки прямыми линиями. В результате получаем область вокруг центра тяжести поперечного сечения (заштрихованная площадь на рисунке 2.4). На этом же рисунке укажем положение нейтральной оси для действующей силы.

Заключение.

1 При заданной сжимающей силе в 90 кН прочность колонны обеспечена, есть возможность повысить нагрузку до 103,8 кН.

2 В колонне заданного поперечного сечения будут возникать напряжения только одного знака, если продольная сила будет прикладываться в найденном ядре сечения.

Контрольные вопросы для защиты

- 1 Какие внутренние силовые факторы возникают при внецентренном растяжении (сжатии)?
- 2 Какие напряжения возникают в сечении при внецентренном растяжении (сжатии)?
- 3 По какой формуле рассчитываются напряжения при внецентренном растяжении (сжатии)?
- 4 Какие геометрические характеристики необходимо определить для расчета?
- 5 Сформулируйте условия прочности при внецентренном растяжении (сжатии).
- 6 Для каких точек делается расчет на прочность?
- 7 Что такое нейтральная ось сечения?
- 8 Как определить положение нейтральной оси при внецентренном растяжении (сжатии) и зачем?
- 9 В каких случаях при сжимающей нагрузке часть колонны будет растягиваться?
- 10 Что такое ядро сечения?
- 11 Как определяют координаты точек ядра сечения?
- 12 Для каких материалов желателен прикладывать сжимающую силу в ядре сечения? Почему?

3 Особенности расчета центрально-сжатой колонны на устойчивость

Для центрально-сжатой колонны, состоящей из стальных прокатных профилей, требуется:

- подобрать размеры поперечного сечения;
- проверить устойчивость колонны;
- определить величину критической силы $F_{кр}$;
- определить коэффициент запаса устойчивости n_u .

Выбор поперечного сечения производят методом последовательного приближения из условия устойчивости, задаваясь коэффициентом продольного изгиба φ . В первом же приближении следует убедиться, что колонна относится к стержням средней или большой гибкости (гибкость не более 220). В противном случае расчет на устойчивость невозможен и следует откорректировать исходные данные у преподавателя.

В теоретических основах этой темы следует раскрыть понятие «потери устойчивости», а также знать?

как рассчитывается критическая сила для стержней разной гибкости и в каких пределах должна быть величина коэффициента запаса на устойчивость, от чего зависит гибкость стержня [1–10].

3.1 План выполнения расчета

1 Вычертить схему закрепления колонны и вид поперечного сечения в соответствии с заданием.

2 Написать условие устойчивости, по которому будет производиться методом последовательного приближения подбор поперечного сечения.

3 В первом приближении принять произвольную величину коэффициента продольного изгиба в пределах $\varphi_1 = 0,5 \dots 0,6$.

4 Из условия устойчивости определить расчетную площадь поперечного сечения всей колонны и одного прокатного профиля.

5 Подобрать номер прокатного профиля по таблицам сортамента.

6 Рассчитать необходимые геометрические характеристики поперечного сечения колонны: площадь, осевые моменты и радиусы инерции относительно главных центральных осей инерции.

7 Определить максимальную гибкость λ_{\max} колонны.

При расчете гибкости следует учесть тот факт, что существуют материальные и свободные оси сечения. Материальная ось непосредственно пересекает элементы сечения, и расчет гибкости относительно этой оси производят по формуле

$$\lambda_m = \frac{\mu \cdot \ell}{i_m} \quad (3.1)$$

Свободная ось проходит через зазор между элементами поперечного сечения, и гибкость относительно этой оси определяется по формуле

$$\lambda_{св} = \sqrt{40^2 + \left(\frac{\mu \cdot \ell}{i_{св}} \right)^2}, \quad (3.2)$$

где μ – коэффициент приведения длины (рисунок 3.1);

ℓ – длина колонны;

$i_m, i_{св}$ – радиусы инерции относительно материальной и свободной осей.

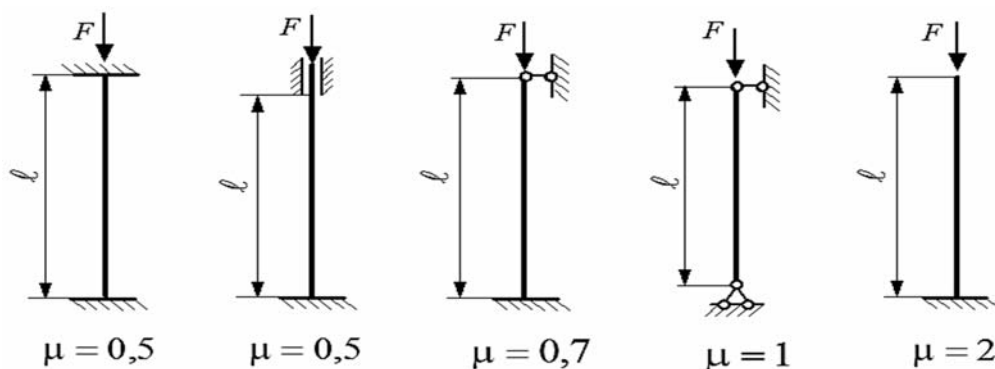


Рисунок 3.1 – Значение коэффициента приведения длины в зависимости от условий

закрепления колонны

8 Для найденного значения максимальной гибкости по таблице 3.1 методом линейной интерполяции определить коэффициент продольного изгиба φ'_1 и сравнить его с φ_1 . Если значения коэффициентов не равны, то выполнить следующее приближение.

Таблица 3.1 – Значение коэффициента продольного изгиба φ

Гибкость	Сталь марок		Чугун	Дюралюминий	Дерево
	Ст 3	14Г2	СЧ24-44		
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,999	0,99
20	0,97	0,95	0,91	0,998	0,97
30	0,95	0,92	0,81	0,835	0,93
40	0,92	0,89	0,69	0,700	0,87
50	0,89	0,84	0,57	0,568	0,80
60	0,86	0,78	0,44	0,455	0,71
70	0,81	0,71	0,34	0,353	0,61
80	0,75	0,63	0,26	0,269	0,48
90	0,69	0,54	0,20	0,212	0,38
100	0,60	0,46	0,16	0,172	0,31
110	0,52	0,39	–	0,142	0,25
120	0,45	0,33	–	0,119	0,22
130	0,40	0,29	–	0,101	0,18
140	0,36	0,25	–	0,087	0,16
150	0,32	0,23	–	0,076	0,14
160	0,29	0,21	–	–	0,12
170	0,26	0,19	–	–	0,11
180	0,23	0,17	–	–	0,10
190	0,21	0,15	–	–	0,09
200	0,19	0,13	–	–	0,08
210	0,17	0,12	–	–	–
220	0,16	0,11	–	–	–

9 Во втором и последующих приближениях начальное значение коэффициента продольного изгиба определить по формуле

$$\varphi_{i+1} = \frac{\varphi_i + \varphi'_i}{2}. \quad (3.3)$$

10 Повторить расчет с 4 по 8 пункт плана.

Приближения выполняются до тех пор, пока коэффициенты φ_i и φ'_i будут мало отличаться друг от друга (менее чем на 5 %) или номер прокатного про-

филя не начнет повторяться в последующих приближениях.

11 Проверить устойчивость колонны из выбранных прокатных профилей. Допускается превышение напряжений в пределах 5 %.

12 Определить величину критической силы. Выбор формулы для расчета $F_{кр}$ зависит от величины максимальной гибкости колонны из выбранных прокатных профилей.

13 Определить коэффициент запаса устойчивости.

14 Дать заключение о выборе поперечного сечения колонны.

3.2 Пример выполнения расчета

Исходные данные: схема закрепления и поперечное сечение колонны (рисунок 3.2); $F = 460$ кН; $\ell = 4,8$ м; $a = 100$ мм; $[\sigma] = 160$ МПа; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа .

Требуется:

- используя метод последовательных приближений, подобрать размеры поперечного сечения;
- проверить устойчивость колонны;
- определить величину критической силы $F_{кр}$;
- определить коэффициент запаса устойчивости n_y .

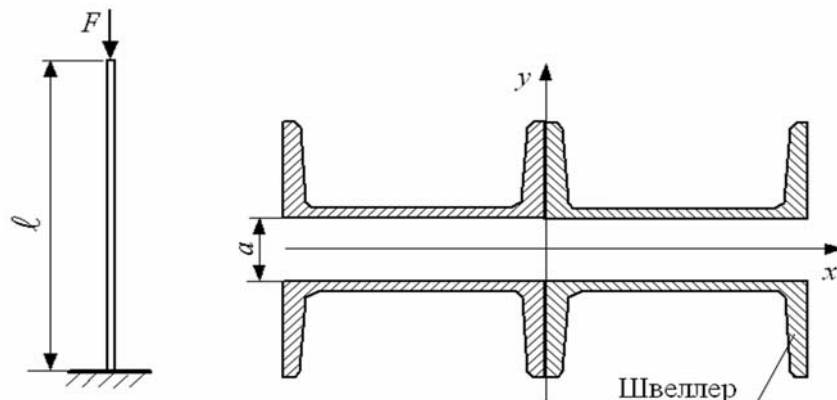


Рисунок 3.2 – Схема закрепления и вид поперечного сечения колонны

Проектировочный расчет.

Расчет размеров поперечного сечения ведем методом последовательного приближения из условия устойчивости

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \varphi \cdot [\sigma],$$

где φ – коэффициент продольного изгиба.

1 Первое приближение.

Пусть $\varphi_1 = 0,5$. Тогда расчетная площадь поперечного сечения колонны

$$A_1 = \frac{F}{\varphi_1 \cdot [\sigma]} = \frac{460 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 57,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 57,5 \text{ см}^2.$$

Расчетная площадь одного швеллера

$$A_1^{шв} = \frac{57,5}{4} = 14,38 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8240–97 выбираем швеллер № 14У с геометрическими характеристиками: $A = 15,6 \text{ см}^2$, $I_{x_1} = 45,4 \text{ см}^4$, $I_{y_1} = 491 \text{ см}^4$, $h = 14 \text{ см}$, $z_0 = 1,67 \text{ см}$.

Определим геометрические характеристики всего сечения относительно главных центральных осей инерции $xу$ (рисунок 3.3).

Площадь поперечного сечения колонны

$$A = 4A^{шв} = 4 \cdot 15,6 = 62,4 \text{ см}^2.$$

Главные центральные моменты инерции сечения

$$I_x = 4 \cdot (I_{x_1} + c^2 \cdot A^{шв});$$

$$I_y = 4 \cdot (I_{y_1} + d^2 \cdot A^{шв}),$$

где c и d – межосевые расстояния, $c = z_0 + \frac{a}{2} = z_0 + \frac{10}{2} \text{ см}$; $d = \frac{h}{2} \text{ см}$.

$$I_x = 4 \cdot (45,4 + (1,67 + 5)^2 \cdot 15,6) = 2957,7 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 4 \cdot (491 + \left(\frac{14}{2}\right)^2 \cdot 15,6) = 5021,6 \text{ см}^4.$$

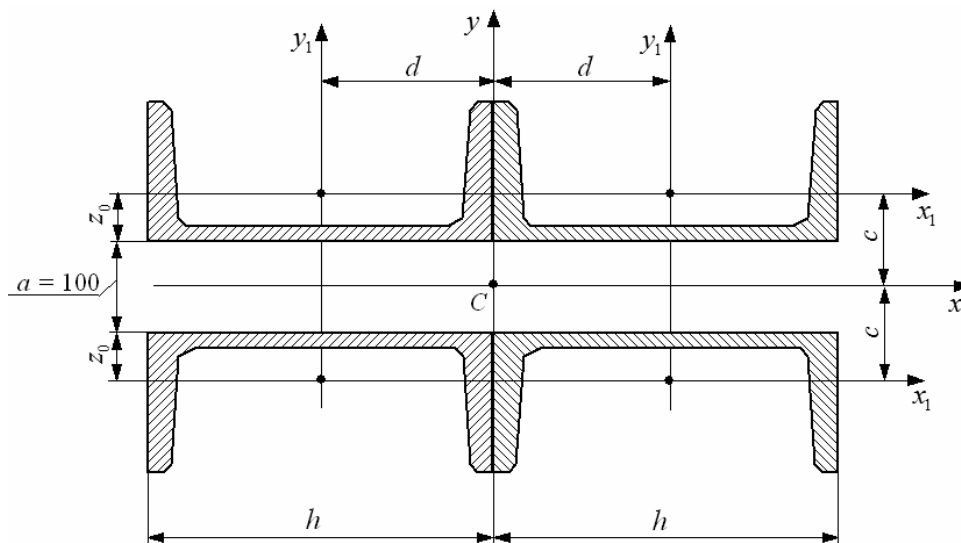


Рисунок 3.3 – Поперечное сечение колонны

Главные центральные радиусы инерции сечения

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{2957,7}{62,4}} = 6,885 \text{ см};$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5021,6}{62,4}} = 8,97 \text{ см}.$$

Гибкость стержня относительно свободной оси x

$$\lambda_x = \sqrt{40^2 + \left(\frac{\mu \cdot \ell}{i_x}\right)^2} = \sqrt{40^2 + \left(\frac{2 \cdot 480}{6,885}\right)^2} = 145,1,$$

где μ – коэффициент приведения длины (см. рисунок 3.1), $\mu = 2$;
 ℓ – длина колонны, $\ell = 480$ см.

Гибкость стержня относительно материальной оси y

$$\lambda_y = \frac{\mu \cdot \ell}{i_y} = \frac{2 \cdot 480}{8,97} = 107.$$

Дальнейший расчет ведем по максимальной гибкости $\lambda_{\max} = 145,1$.

Уточним значение коэффициента продольного изгиба φ , используя данные таблицы 3.1:

– при $\lambda = 140$ $\varphi = 0,36$;

– при $\lambda = 150$ $\varphi = 0,32$.

Линейно интерполируем

$$\varphi_1' = 0,36 - \frac{0,36 - 0,32}{150 - 140} \cdot (145,1 - 140) = 0,34.$$

Так как $\varphi_1 \neq \varphi_1'$, делаем следующее приближение.

2 Второе приближение.

Начальное значение коэффициента продольного изгиба

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_1'}{2} = \frac{0,5 + 0,34}{2} = 0,42.$$

Расчетная площадь поперечного сечения колонны

$$A_2 = \frac{F}{\varphi_2 \cdot [\sigma]} = \frac{460 \cdot 10^3}{0,42 \cdot 160 \cdot 10^6} = 68,45 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 68,45 \text{ см}^2.$$

Расчетная площадь одного швеллера

$$A_2^{шв} = \frac{68,45}{4} = 17,11 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8240–97 выбираем швеллер № 16У с геометрическими характеристиками: $A = 18,1 \text{ см}^2$, $I_{x_1} = 63,3 \text{ см}^4$, $I_{y_1} = 747 \text{ см}^4$, $h = 16 \text{ см}$, $z_0 = 1,8 \text{ см}$.

Определим геометрические характеристики всего сечения относительно главных центральных осей инерции xu (см. рисунок 3.3).

Площадь поперечного сечения

$$A = 4A^{шв} = 4 \cdot 18,1 = 72,4 \text{ см}^2.$$

Главные центральные моменты инерции сечения

$$I_x = 4 \cdot (63,3 + (1,8 + 5)^2 \cdot 18,1) = 3601 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 4 \cdot (747 + \left(\frac{16}{2}\right)^2 \cdot 18,1) = 7621,6 \text{ см}^4.$$

Главные центральные радиусы инерции сечения

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{3601}{72,4}} = 7,05 \text{ см};$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{7621,6}{72,4}} = 10,26 \text{ см}.$$

Гибкость стержня относительно свободной оси x

$$\lambda_x = \sqrt{40^2 + \left(\frac{\mu \cdot \ell}{i_x}\right)^2} = \sqrt{40^2 + \left(\frac{2 \cdot 480}{7,05}\right)^2} = 141,9.$$

Гибкость стержня относительно материальной оси y

$$\lambda_y = \frac{\mu \cdot \ell}{i_y} = \frac{2 \cdot 480}{10,26} = 93,57.$$

Дальнейший расчет ведем по максимальной гибкости $\lambda_{\max} = 141,9$.

Уточним значение коэффициента продольного изгиба φ , используя дан-

ные таблицы 3.1:

– при $\lambda = 140$ $\varphi = 0,36$;

– при $\lambda = 150$ $\varphi = 0,32$.

Линейно интерполируем

$$\varphi_2' = 0,36 - \frac{0,36 - 0,32}{150 - 140} \cdot (141,9 - 140) = 0,352.$$

Так как $\varphi_2 \neq \varphi_2'$, делаем следующее приближение.

3 Третье приближение.

Начальное значение коэффициента продольного изгиба

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi_2'}{2} = \frac{0,42 + 0,352}{2} = 0,386.$$

Расчетная площадь поперечного сечения колонны

$$A_3 = \frac{F}{\varphi_3 \cdot [\sigma]} = \frac{460 \cdot 10^3}{0,386 \cdot 160 \cdot 10^6} = 74,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 74,48 \text{ см}^2.$$

Расчетная площадь одного швеллера

$$A_3^{шв} = \frac{74,48}{4} = 18,62 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8240–97 выбираем швеллер № 16аУ с геометрическими характеристиками: $A = 19,5 \text{ см}^2$, $I_{x_1} = 78,8 \text{ см}^4$, $I_{y_1} = 823 \text{ см}^4$, $h = 16 \text{ см}$, $z_0 = 2 \text{ см}$.

Площадь поперечного сечения колонны

$$A = 4A^{шв} = 4 \cdot 19,5 = 78 \text{ см}^2.$$

Главные центральные моменты инерции сечения

$$I_x = 4 \cdot (78,8 + (2 + 5)^2 \cdot 19,5) = 4137,2 \text{ см}^4;$$

$$I_y = 4 \cdot (823 + \left(\frac{16}{2}\right)^2 \cdot 19,5) = 8284 \text{ см}^4.$$

Главные центральные радиусы инерции сечения

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{4137,2}{78}} = 7,28 \text{ см};$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8284}{78}} = 10,3 \text{ см.}$$

Гибкость стержня относительно свободной оси x

$$\lambda_x = \sqrt{40^2 + \left(\frac{\mu \cdot \ell}{i_x}\right)^2} = \sqrt{40^2 + \left(\frac{2 \cdot 480}{7,28}\right)^2} = 137,8.$$

Гибкость стержня относительно материальной оси y

$$\lambda_y = \frac{\mu \cdot \ell}{i_y} = \frac{2 \cdot 480}{10,3} = 93,2.$$

Дальнейший расчет ведем по максимальной гибкости $\lambda_{\max} = 137,8$.

Уточним значение коэффициента продольного изгиба φ , используя данные таблицы 3.1:

– при $\lambda = 130$ $\varphi = 0,40$;

– при $\lambda = 140$ $\varphi = 0,36$.

Линейно интерполируем

$$\varphi'_3 = 0,40 - \frac{0,40 - 0,36}{140 - 130} \cdot (137,8 - 130) = 0,369.$$

Так как $\varphi_3 \neq \varphi'_3$, делаем следующее приближение.

4 Четвертое приближение.

Начальное значение коэффициента продольного изгиба

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_3 + \varphi'_3}{2} = \frac{0,386 + 0,369}{2} = 0,378.$$

Расчетная площадь поперечного сечения колонны

$$A_4 = \frac{F}{\varphi_4 \cdot [\sigma]} = \frac{460 \cdot 10^3}{0,378 \cdot 160 \cdot 10^6} = 76,06 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 76,06 \text{ см}^2.$$

Расчетная площадь одного швеллера

$$A_4^{шв} = \frac{76,06}{4} = 19,01 \text{ см}^2.$$

По ГОСТ 8240–97 выбираем швеллер № 16аУ. Для этого случая были рассчитаны показатели в третьем приближении:

$$A = 78 \text{ см}^2; \quad \lambda_{\max} = 137,8; \quad \varphi = 0,369.$$

Так как выбор номера швеллера стал повторяться, то остановимся на этом сечении и проверим его устойчивость.

Проверочный расчет.

Проверим устойчивость колонны, состоящую из четырех швеллеров № 16аУ, по формуле

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \varphi \cdot [\sigma].$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{460 \cdot 10^3}{78 \cdot 10^{-4}} = 59 \cdot 10^6 \text{ Па} = 59 \text{ МПа};$$

$$\varphi \cdot [\sigma] = 0,369 \cdot 160 = 59,04 \text{ МПа};$$

$$\sigma = 59 \text{ МПа} < \varphi \cdot [\sigma] = 59,04 \text{ МПа}.$$

Условие устойчивости выполняется.

Определение критической силы и коэффициента запаса устойчивости.

Критическую силу определим по формуле Эйлера, т. к. значение максимальной гибкости для выбранного сечения превышает предельную гибкость стали (Ст 3):

$$\lambda_{\max} = 137,8 > \lambda_{\text{пред}} = 100.$$

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(\lambda_{\max})^2} \cdot A = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{137,8^2} \cdot 78 \cdot 10^{-4} = 810 \cdot 10^3 \text{ Н} = 810 \text{ кН}.$$

Коэффициент запаса устойчивости

$$n_y = \frac{F_{\text{кр}}}{F} = \frac{810}{460} = 1,76.$$

Заключение.

Для заданной колонны выбрано поперечное сечение, состоящее из четырех швеллеров № 16аУ. Устойчивость колонны при действующей сжимающей силе в 460 кН обеспечена с коэффициентом запаса $n_y = 1,76$.

Контрольные вопросы для защиты

- 1 Что понимают под устойчивостью деформируемых систем?
- 2 Назовите формы равновесия системы.
- 3 Какую силу называют критической?
- 4 Как определяют коэффициент запаса устойчивости?
- 5 Запишите формулу Эйлера для расчета критической силы.
- 6 В каких случаях применяется формула Эйлера для расчета критической силы?
- 7 Что такое коэффициент приведения длины?
- 8 От каких факторов зависит величина коэффициента приведения длины?
- 9 Запишите формулу Ясинского для расчета критической силы.
- 10 В каких случаях применяется формула Ясинского для расчета критической силы?
- 11 Какие геометрические характеристики используют в расчете на устойчивость?
- 12 Сформулируйте условие устойчивости для центрально-сжатой колонны.

Список литературы

- 1 **Кузменко, И. М.** Механика материалов: учебное пособие: в 2 ч. / И. М. Кузменко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – Ч. 1. – 289 с.
- 2 **Кузменко, И. М.** Механика материалов: учебное пособие: в 2 ч. / И. М. Кузменко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – Ч. 2. – 281 с.
- 3 Сопротивление материалов в вопросах-ответах и сборник задач для самостоятельной работы с примерами их решений: учебное пособие / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – 3-е изд., стер. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 324 с.
- 4 **Кривошапко, С. Н.** Сопротивление материалов: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / С. Н. Кривошапко. – Москва: Юрайт, 2016. – 413 с.
- 5 **Дарков, А. В.** Сопротивление материалов: учебник / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Альянс, 2018. – 624 с.
- 6 **Беляев, Н. М.** Сопротивление материалов: учебное пособие / Н. М. Беляев. – 15-е изд., перераб. и стер. – Москва: Альянс, 2015. – 608 с.
- 7 **Писаренко, Г. С.** Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, Ф. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Киев: Дельта, 2008. – 816 с.
- 8 **Подскребко, М. Д.** Сопротивление материалов: учебник для вузов / М. Д. Подскребко. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 797 с.
- 9 **Старовойтов, Э. И.** Сопротивление материалов: учебник для вузов / Э. И. Старовойтов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 384 с.
- 10 **Окопный, Ю. А.** Механика материалов и конструкций: учебник для вузов / Ю. А. Окопный, В. П. Радин, В. П. Чирков. – 2-е изд., доп. – Москва: Машиностроение, 2002. – 436 с.

**Приложение А
(справочное)**

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

Курсовая работа

**Расчет колонн на внецентренное сжатие
и устойчивость**

Выполнил(а) студент(ка)

Группа _____

Проверил преподаватель

Могилев 20____ г.

Приложение Б (справочное)

МОУВО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»											
Кафедра «Технологии металлов» Специальность 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» дисциплина «Механика материалов и конструкций»	<p style="text-align: center;">«УТВЕРЖДАЮ» Заведующий кафедрой</p> <p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">подпись инициалы и фамилия</p> <p style="text-align: center;">« ____ » _____ 20 ____ г.</p>										
<p>Задание на курсовую работу «РАСЧЕТ КОЛОНН НА ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ»</p>											
студенту(ке) _____ Вариант № _____											
<i>Исходные данные для расчета на внецентренное сжатие</i>											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Параметр</th> <th style="padding: 5px;">Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Сжимающая сила F, кН</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">220</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma]_{сж}$, МПа; на растяжение $[\sigma]_{раст}$, МПа</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">45 6,7</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Размеры колонны a, мм b, мм</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">90 50</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значение	Сжимающая сила F , кН	220	Допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma]_{сж}$, МПа; на растяжение $[\sigma]_{раст}$, МПа	45 6,7	Размеры колонны a , мм b , мм	90 50			
Параметр	Значение										
Сжимающая сила F , кН	220										
Допускаемое напряжение на сжатие $[\sigma]_{сж}$, МПа; на растяжение $[\sigma]_{раст}$, МПа	45 6,7										
Размеры колонны a , мм b , мм	90 50										
<i>Исходные данные для расчета на устойчивость</i>											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Параметр</th> <th style="padding: 5px;">Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Сжимающая сила F, кН</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">380</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Высота колонны ℓ, м</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">2,5</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Зазор между деталями a, мм</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">30</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Марка стали</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">10Г2СД</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значение	Сжимающая сила F , кН	380	Высота колонны ℓ , м	2,5	Зазор между деталями a , мм	30	Марка стали	10Г2СД	
Параметр	Значение										
Сжимающая сила F , кН	380										
Высота колонны ℓ , м	2,5										
Зазор между деталями a , мм	30										
Марка стали	10Г2СД										
Дата выдачи задания _____											
Срок выполнения работы _____											
Руководитель _____ (подпись) _____ (инициалы и фамилия)											
Задание принял(ла) к исполнению _____ (дата и подпись студента)											

Рисунок Б.1 – Пример формы задания на курсовую работу

Приложение В (справочное)

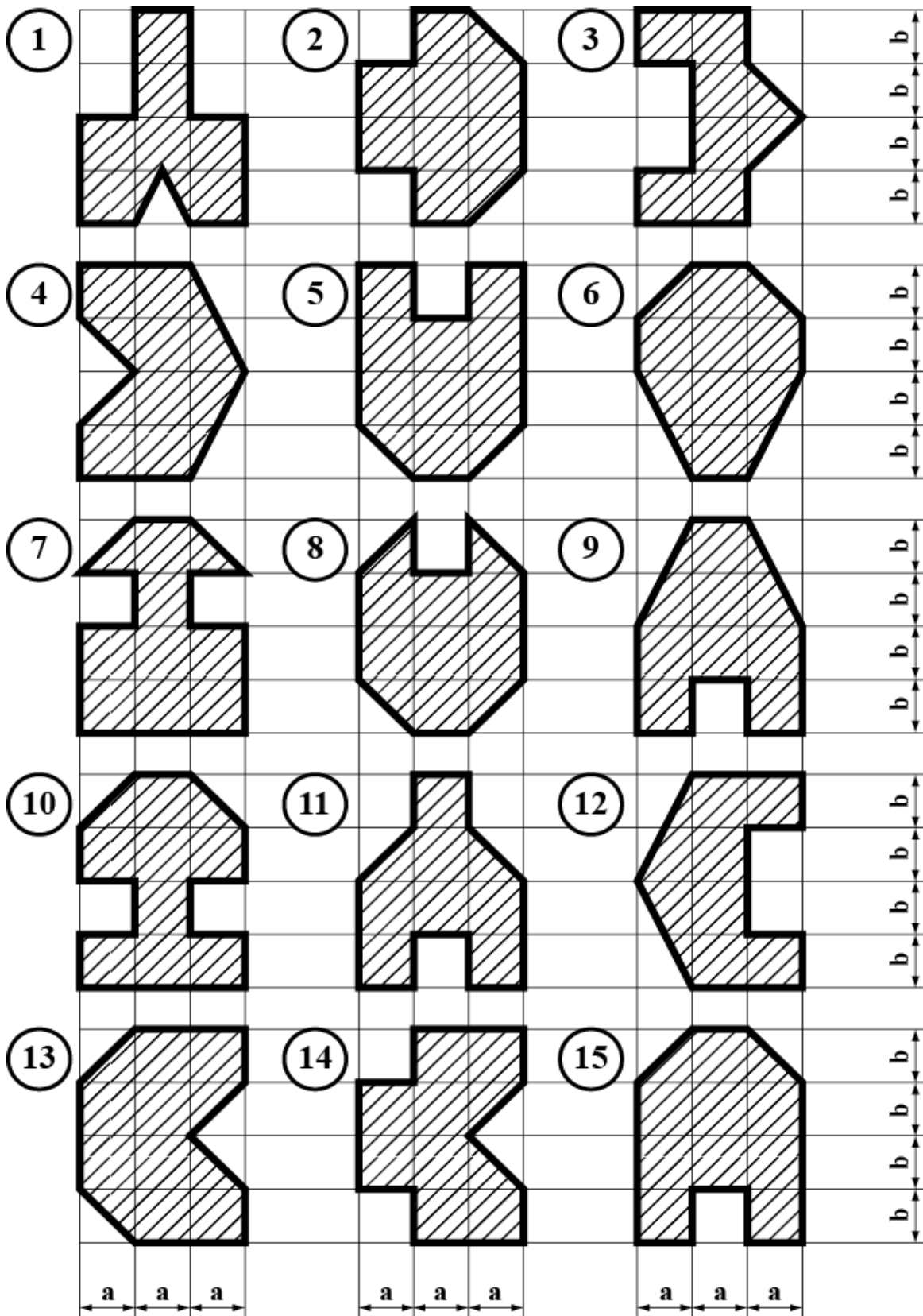
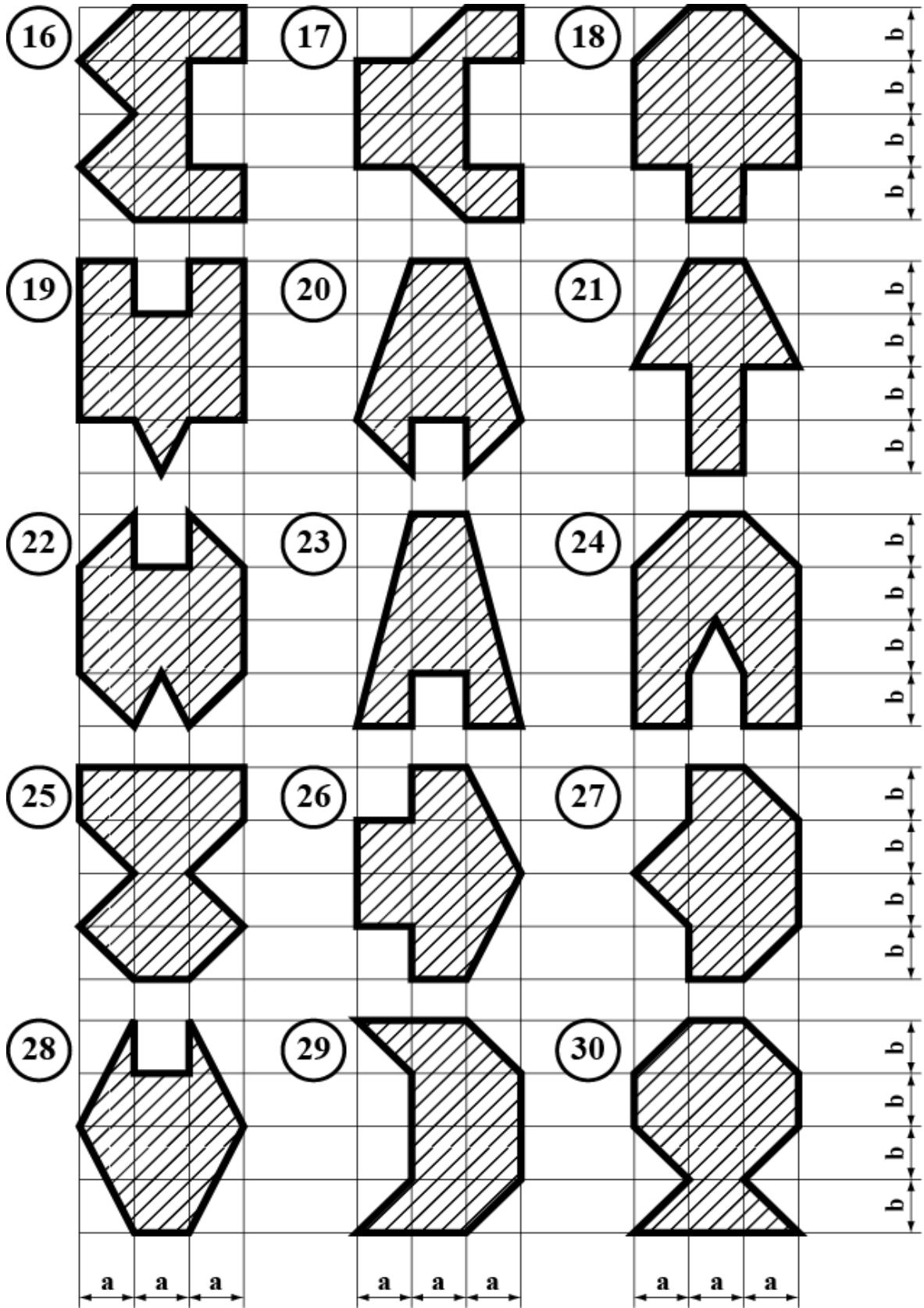


Рисунок В.1 – Исходные данные для расчета колонны на внецентренное сжатие



Окончание рисунка В.1

Приложение Г (справочное)

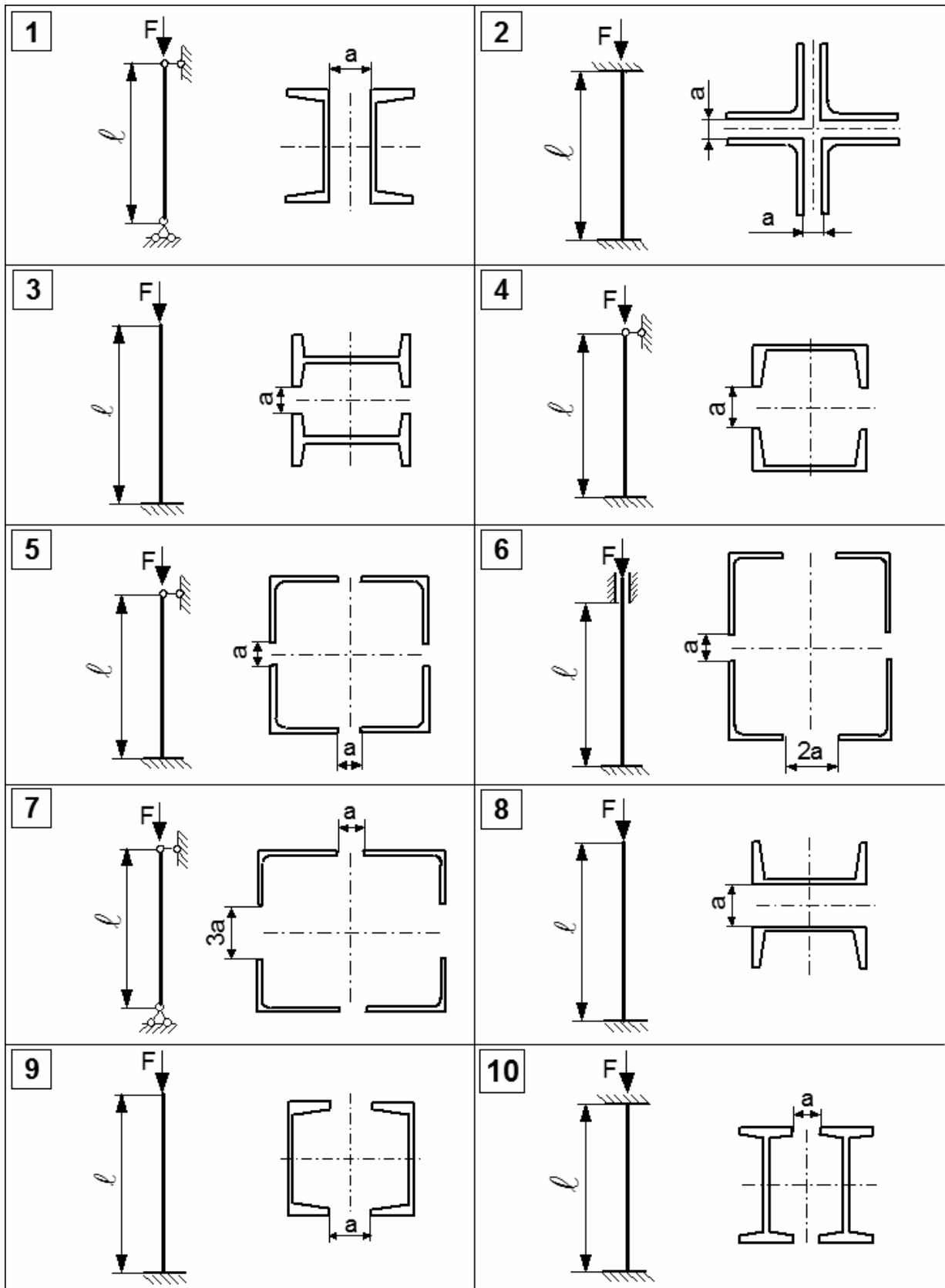
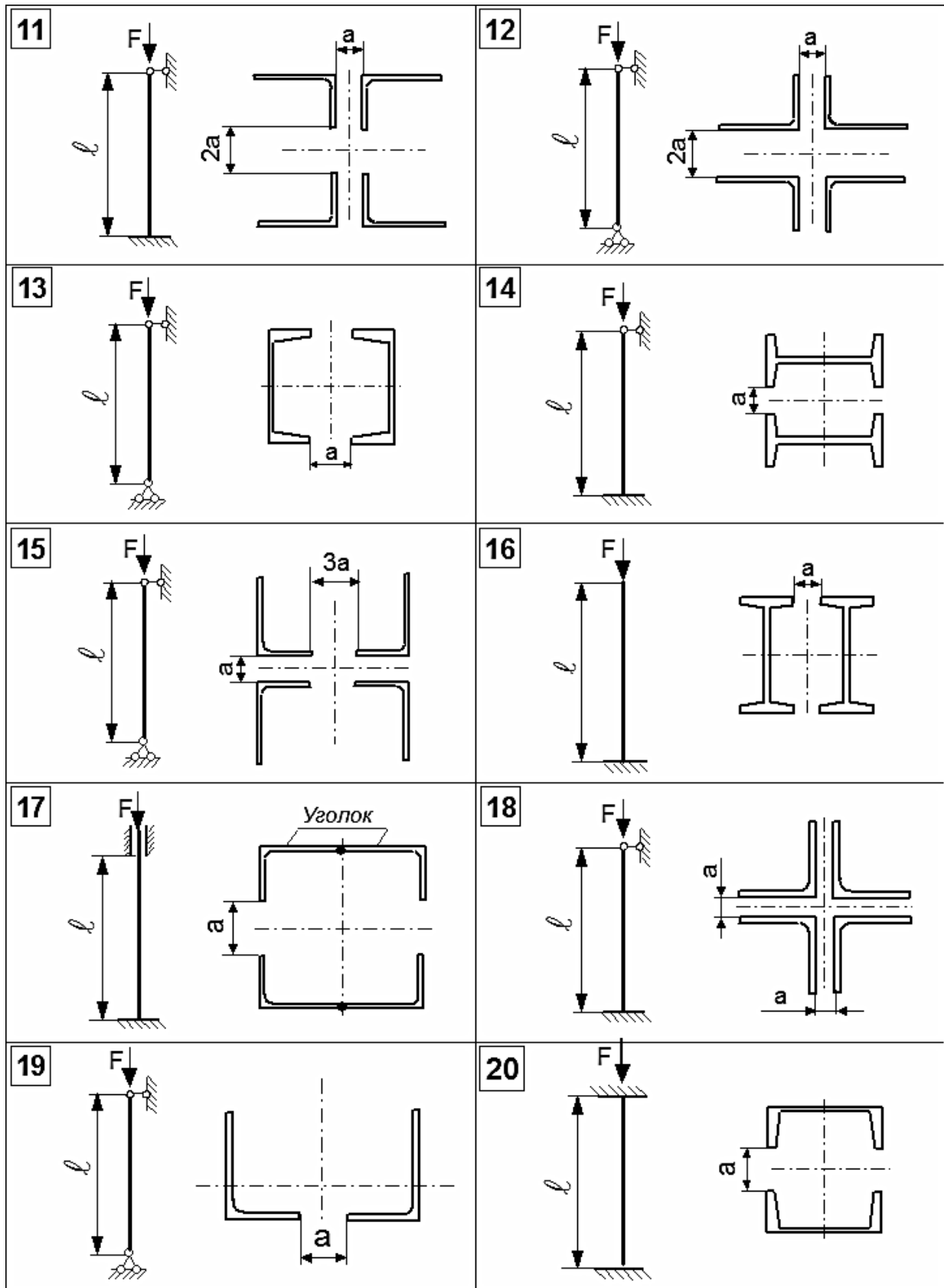
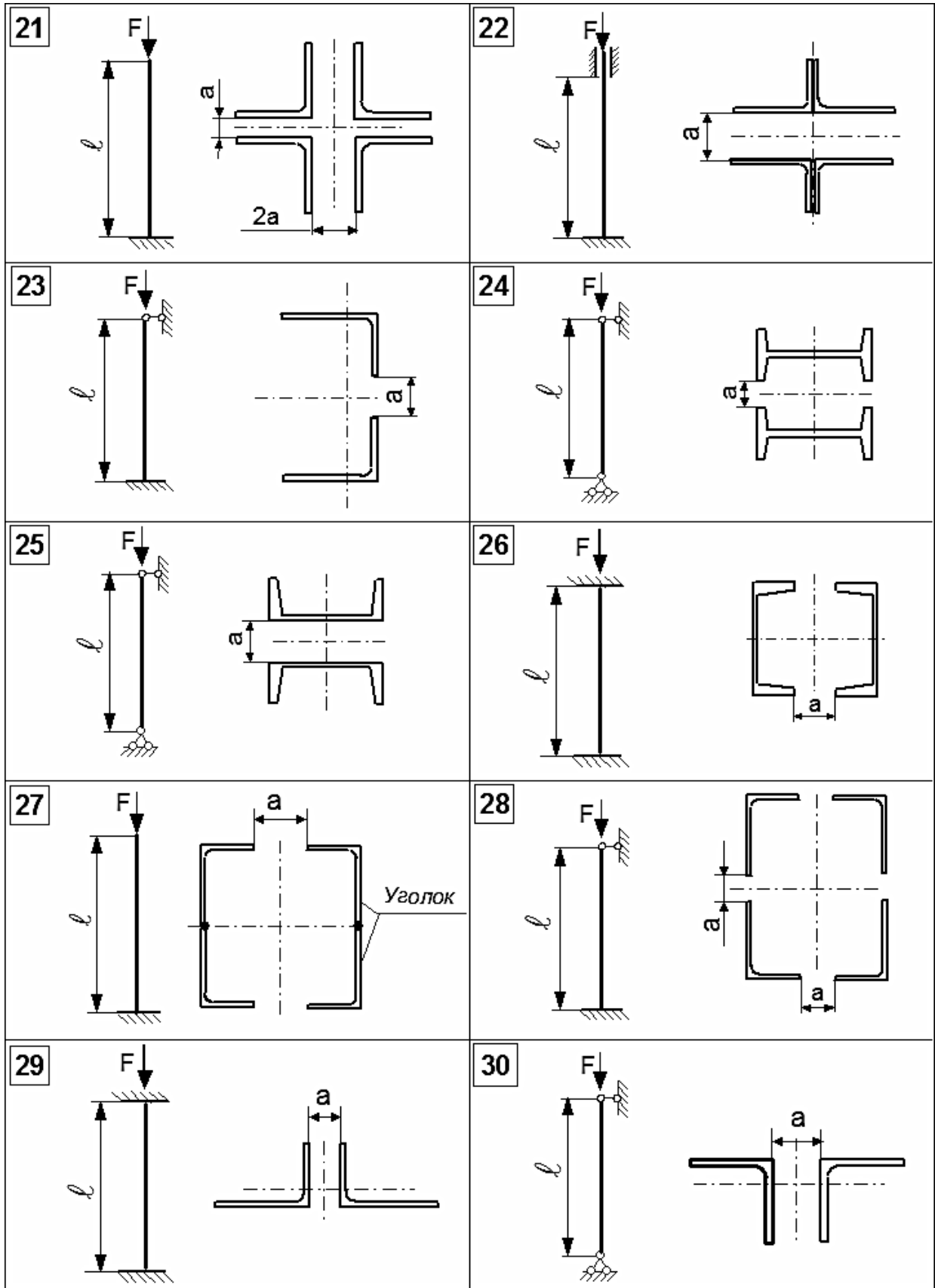


Рисунок Г.1 – Исходные данные для расчета колонны на устойчивость



Продолжение рисунка Г.1

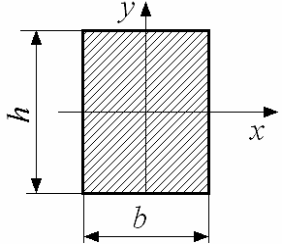
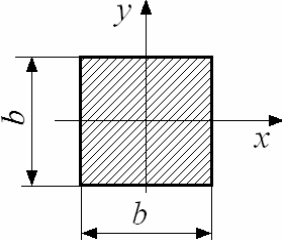
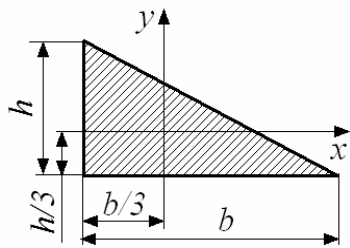
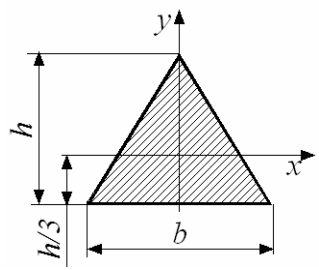
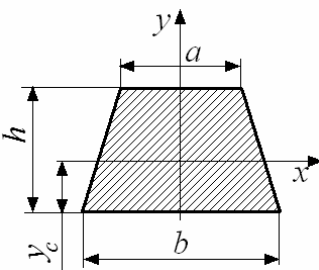


Окончание рисунка Г.1

Приложение Д (справочное)

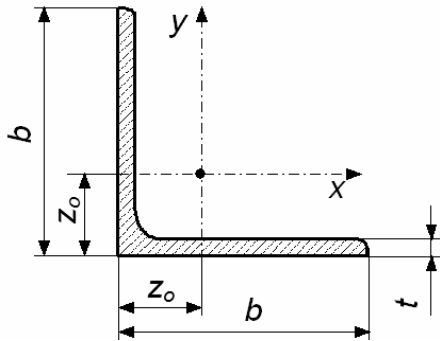
Геометрические характеристики простых сечений

Таблица Д.1 – Геометрические характеристики простых сечений

Сечение	Площадь сечения A , м ²	Осевые моменты инерции I_x, I_y , м ⁴
	bh	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{12}$
	b^2	$I_x = I_y = \frac{b^4}{12}$
	$\frac{bh}{2}$	$I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{hb^3}{36}$
	$\frac{bh}{2}$	$I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_y = \frac{hb^3}{48} = I_{сумм}$
 $y_c = \frac{h(2a+b)}{3(a+b)}$	$\frac{(a+b)h}{2}$	$I_x = \frac{(a^2 + 4ab + b^2)h^3}{36(a+b)}$ $I_y = \frac{h(b^4 - a^4)}{48(b-a)} = I_{сумм}$

Приложение Е (справочное)

Сокращенный сортамент прокатной стали



b – ширина полки;
 t – толщина полки;
 A – площадь поперечного сечения;
 I_x – осевой момент инерции ($I_x = I_y$);
 W_x – осевой момент сопротивления ($W_x = W_y$);
 i_x – радиус инерции ($i_x = i_y$);
 I_{xy} – центробежный момент инерции;
 z_o – расстояния от центра тяжести до наружной грани полки

Рисунок Е.1 – Уголки стальные горячекатаные равнополочные

Таблица Е.1 – Уголки стальные горячекатаные равнополочные (по ГОСТ 8509–93)

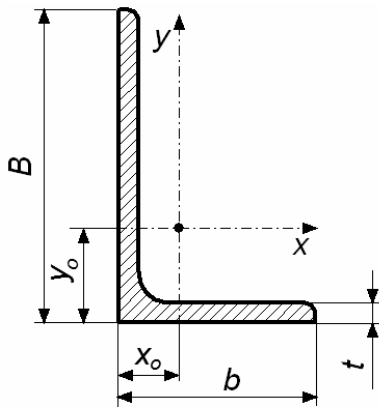
Обозначение уголка $b \times b \times t$, мм	A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_{xy} , см ⁴	z_o , см
20 × 20 × 3	1,13	0,40	0,28	0,59	0,23	0,60
20 × 20 × 4	1,46	0,50	0,37	0,58	0,28	0,64
25 × 25 × 3	1,43	0,81	0,46	0,75	0,47	0,73
25 × 25 × 4	1,86	1,03	0,59	0,74	0,59	0,76
28 × 28 × 3	1,62	1,16	0,58	0,85	0,68	0,80
30 × 30 × 3	1,74	1,45	0,67	0,91	0,85	0,85
30 × 30 × 4	2,27	1,84	0,87	0,90	1,08	0,89
32 × 32 × 3	1,86	1,77	0,77	0,97	1,03	0,89
32 × 32 × 4	2,43	2,26	1,00	0,96	1,32	0,94
35 × 35 × 3	2,04	2,35	0,93	1,07	1,37	0,97
35 × 35 × 4	2,67	3,01	1,21	1,06	1,75	1,01
35 × 35 × 5	3,28	3,61	1,47	1,05	2,10	1,05
40 × 40 × 3	2,35	3,55	1,22	1,23	2,08	1,09
40 × 40 × 4	3,08	4,58	1,60	1,22	2,68	1,13
40 × 40 × 5	3,79	5,53	1,95	1,21	3,22	1,17
45 × 45 × 3	2,65	5,13	1,56	1,39	3,00	1,21
45 × 45 × 4	3,48	6,63	2,04	1,38	3,89	1,26
45 × 45 × 5	4,29	8,03	2,51	1,37	4,71	1,30
50 × 50 × 3	2,96	7,11	1,94	1,55	4,16	1,33
50 × 50 × 4	3,89	9,21	2,54	1,54	5,42	1,38
50 × 50 × 5	4,80	11,20	3,13	1,53	6,57	1,42
50 × 50 × 6	5,69	13,07	3,69	1,52	7,65	1,46

Продолжение таблицы Е.1

Обозначение уголка $b \times b \times t$, мм	A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_{xy} , см ⁴	z_o , см
56 × 56 × 4	4,38	13,10	3,21	1,73	7,69	1,52
56 × 56 × 5	5,41	15,97	3,96	1,72	9,41	1,57
63 × 63 × 4	4,96	18,86	4,09	1,95	11,00	1,69
63 × 63 × 5	6,13	23,10	5,05	1,94	13,70	1,74
63 × 63 × 6	7,28	27,06	5,98	1,93	15,90	1,78
70 × 70 × 4,5	6,20	29,04	5,67	2,16	17,00	1,88
70 × 70 × 5	6,86	31,94	6,27	2,16	18,70	1,90
70 × 70 × 6	8,15	37,58	7,43	2,15	22,10	1,94
70 × 70 × 7	9,42	42,98	8,57	2,14	25,20	1,99
70 × 70 × 8	10,67	48,16	9,68	2,12	28,20	2,02
75 × 75 × 5	7,39	39,53	7,21	2,31	23,10	2,02
75 × 75 × 6	8,78	46,57	8,57	2,30	27,30	2,06
75 × 75 × 7	10,15	53,34	9,89	2,29	31,20	2,10
75 × 75 × 8	11,50	59,84	11,18	2,28	35,00	2,15
75 × 75 × 9	12,83	66,10	12,43	2,27	38,60	2,18
80 × 80 × 5,5	8,63	52,68	9,03	2,47	30,90	2,17
80 × 80 × 6	9,38	56,97	9,80	2,47	33,40	2,19
80 × 80 × 7	10,85	65,31	11,32	2,45	38,30	2,23
80 × 80 × 8	12,30	73,36	12,80	2,44	43,00	2,27
90 × 90 × 6	10,61	82,10	12,49	2,78	48,10	2,43
90 × 90 × 7	12,28	94,30	14,45	2,77	55,40	2,47
90 × 90 × 8	13,93	106,11	16,36	2,76	62,30	2,51
90 × 90 × 9	15,60	118,00	18,29	2,75	68,00	2,55
100 × 100 × 6,5	12,82	122,10	16,69	3,09	71,40	2,68
100 × 100 × 7	13,75	130,59	17,90	3,08	76,40	2,71
100 × 100 × 8	15,60	147,19	20,30	3,07	86,30	2,75
100 × 100 × 10	19,24	178,95	24,97	3,05	110,00	2,83
100 × 100 × 12	22,80	208,90	29,47	3,03	122,00	2,91
100 × 100 × 14	26,28	237,15	33,83	3,00	138,00	2,99
100 × 100 × 16	29,68	263,82	38,04	2,98	152,00	3,06
110 × 110 × 7	15,15	175,61	21,83	3,40	106,00	2,96
110 × 110 × 8	17,20	198,17	24,77	3,39	116,00	3,00

Окончание таблицы Е.1

Обозначение уголка $b \times b \times t$, мм	A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_{xy} , см ⁴	z_o , см
125 × 125 × 8	19,69	294,36	32,20	3,87	172,00	3,36
125 × 125 × 9	22,00	327,48	36,00	3,86	192,00	3,40
125 × 125 × 10	24,33	359,82	39,74	3,85	211,00	3,45
125 × 125 × 12	28,89	422,23	47,06	3,82	248,00	3,53
125 × 125 × 14	33,37	481,76	54,17	3,80	282,00	3,61
125 × 125 × 16	37,77	538,56	61,09	3,78	315,00	3,68
140 × 140 × 9	24,72	465,72	45,55	4,34	274,00	3,76
140 × 140 × 10	27,33	512,29	50,32	4,33	301,00	3,82
140 × 140 × 12	32,49	602,49	59,66	4,31	354,00	3,90
160 × 160 × 10	31,43	774,24	66,19	4,96	455,00	4,30
160 × 160 × 11	34,42	844,21	72,44	4,95	496,00	4,35
160 × 160 × 12	37,39	912,89	78,62	4,94	537,00	4,39
160 × 160 × 14	43,57	1046,47	90,77	4,92	615,00	4,47
160 × 160 × 16	49,07	1175,19	102,64	4,89	690,00	4,55
160 × 160 × 18	54,79	1290,24	114,24	4,87	771,00	4,63
160 × 160 × 20	60,40	1418,85	125,60	4,85	830,00	4,70
180 × 180 × 11	38,80	1216,44	92,47	5,60	716,00	4,85
180 × 180 × 12	42,19	1316,62	100,41	5,59	776,00	4,89
200 × 200 × 12	47,10	1822,78	124,61	6,22	1073,00	5,37
200 × 200 × 13	50,85	1960,77	134,44	6,21	1156,00	5,42
200 × 200 × 14	54,60	2097,00	144,17	6,20	1236,00	5,46
200 × 200 × 16	61,98	2362,57	163,37	6,17	1393,00	5,54
200 × 200 × 20	76,54	2871,47	200,37	6,12	1689,00	5,70
200 × 200 × 25	94,29	3466,21	245,59	6,06	2028,00	5,89
200 × 200 × 30	111,54	4019,60	288,57	6,00	2332,00	6,07
220 × 220 × 14	60,38	2814,36	175,18	6,83	1655,00	5,91
220 × 220 × 16	68,58	3175,44	198,71	6,80	1869,00	6,02
250 × 250 × 16	78,40	4717,10	258,43	7,76	2775,00	6,75
250 × 250 × 18	87,72	5247,24	288,82	7,73	3089,00	6,83
250 × 250 × 20	96,96	5764,87	318,76	7,71	3395,00	6,91
250 × 250 × 22	106,12	6270,32	348,26	7,69	3691,00	7,00
250 × 250 × 25	119,71	7006,39	391,72	7,65	4119,00	7,11
250 × 250 × 28	133,12	7716,86	434,25	7,61	4527,00	7,23
250 × 250 × 30	141,96	8176,82	462,11	7,59	4788,00	7,31
250 × 250 × 35	163,71	9281,05	530,11	7,53	5401,68	7,53



B – ширина большей полки;
 b – ширина меньшей полки;
 t – толщина полки;
 A – площадь поперечного сечения;
 I_x, I_y – осевые моменты инерции;
 W_x, W_y – осевые моменты сопротивления;
 i_x, i_y – радиусы инерции;
 I_{xy} – центробежный момент инерции;
 x_o, y_o – расстояния от центра тяжести до наружной грани полки

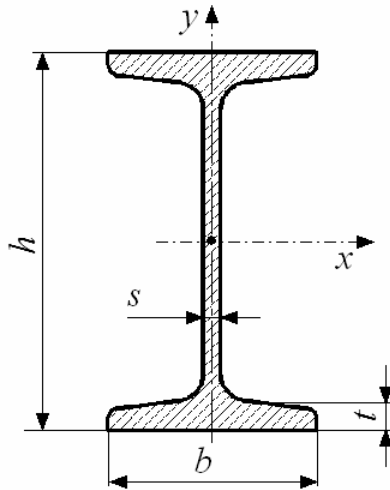
Рисунок Е.2 – Уголки стальные горячекатаные неравнополочные

Таблица Е.2 – Уголки стальные горячекатаные неравнополочные (по ГОСТ 8510–86)

Обозначение уголка $B \times b \times t$, мм	A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	I_{xy} , см ⁴	x_o , см	y_o , см
25 × 16 × 3	1,16	0,70	0,43	0,78	0,22	0,19	0,44	0,22	0,42	0,86
30 × 20 × 3	1,43	1,27	0,62	0,94	0,45	0,30	0,56	0,43	0,51	1,00
30 × 20 × 4	1,86	1,61	0,82	0,93	0,56	0,39	0,55	0,54	0,54	1,04
32 × 20 × 3	1,49	1,52	0,72	1,01	0,46	0,30	0,55	0,47	0,49	1,08
32 × 20 × 4	1,94	1,93	0,93	1,00	0,57	0,39	0,54	0,59	0,53	1,12
40 × 25 × 3	1,89	3,06	1,14	1,27	0,93	0,49	0,70	0,96	0,59	1,32
40 × 25 × 4	2,47	3,93	1,49	1,26	1,18	0,63	0,69	1,22	0,63	1,37
40 × 25 × 5	3,03	4,73	1,82	1,25	1,41	0,77	0,68	1,44	0,66	1,41
40 × 30 × 4	2,67	4,18	1,54	1,25	2,01	0,91	0,87	1,68	0,78	1,28
40 × 30 × 5	3,28	5,04	1,88	1,24	2,41	1,11	0,86	2,00	0,82	1,32
45 × 28 × 3	2,14	4,41	1,45	1,48	1,32	0,61	0,79	1,38	0,64	1,47
45 × 28 × 4	2,80	5,68	1,90	1,42	1,69	0,80	0,78	1,77	0,68	1,51
50 × 32 × 3	2,42	6,18	1,82	1,60	1,99	0,81	0,91	2,01	0,72	1,60
50 × 32 × 4	3,17	7,98	2,38	1,59	2,56	1,05	0,90	2,59	0,76	1,65
56 × 36 × 4	3,58	11,37	3,01	1,78	3,70	1,34	1,02	3,74	0,84	1,82
56 × 36 × 5	4,41	13,82	3,70	1,77	4,48	1,65	1,01	4,50	0,88	1,87
63 × 40 × 4	4,04	16,33	3,83	2,01	5,16	1,67	1,13	5,25	0,91	2,03
63 × 40 × 5	4,98	19,91	4,72	2,00	6,26	2,05	1,12	6,41	0,95	2,08
63 × 40 × 6	5,90	23,31	5,58	1,99	7,29	2,42	1,11	7,44	0,99	2,12
63 × 40 × 8	7,68	29,60	7,22	1,96	9,15	3,12	1,09	9,27	1,07	2,20
65 × 50 × 5	5,56	23,41	5,20	2,05	12,08	3,23	1,47	9,77	1,26	2,00
65 × 50 × 6	6,60	27,46	6,16	2,04	14,12	3,82	1,46	11,46	1,30	2,04
65 × 50 × 7	7,62	31,32	7,08	2,03	16,05	4,38	1,45	12,94	1,34	2,08
65 × 50 × 8	8,62	35,00	7,99	2,02	18,88	4,93	1,44	13,61	1,37	2,12

Окончание таблицы Е.2

Обозначение уголка $B \times b \times t$, мм	A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	I_{xy} , см ⁴	x_0 , см	y_0 , см
70 × 45 × 5	5,59	27,76	5,88	2,23	9,05	2,62	1,27	9,12	1,05	2,28
75 × 50 × 5	6,11	34,81	6,81	2,39	12,47	3,25	1,43	12,00	1,17	2,39
75 × 50 × 6	7,25	40,92	8,08	2,38	14,60	3,85	1,42	14,10	1,21	2,44
75 × 50 × 7	8,37	46,77	9,31	2,36	16,61	4,43	1,41	16,18	1,25	2,48
75 × 50 × 8	9,47	52,38	10,52	2,35	18,52	4,88	1,40	17,80	1,29	2,52
80 × 50 × 5	6,36	41,64	7,71	2,56	12,68	3,28	1,41	13,20	1,13	2,60
80 × 50 × 6	7,55	48,98	9,15	2,55	14,85	3,88	1,40	15,50	1,17	2,65
80 × 60 × 6	8,15	52,06	9,42	2,53	25,18	5,58	1,76	20,98	1,49	2,47
80 × 60 × 7	9,42	59,61	10,87	2,52	28,74	6,43	1,75	24,01	1,53	2,52
80 × 60 × 8	10,67	66,88	12,38	2,50	32,15	7,26	1,74	26,83	1,57	2,56
90 × 56 × 5,5	7,86	65,28	10,74	2,88	19,67	4,53	1,58	20,54	1,26	2,92
90 × 56 × 6	8,54	70,58	11,66	2,88	21,22	4,91	1,58	22,23	1,28	2,95
90 × 56 × 8	11,18	90,87	15,24	2,85	27,08	6,39	1,56	28,33	1,36	3,04
100 × 63 × 6	9,58	98,29	14,52	3,20	30,58	6,27	1,79	31,50	1,42	3,23
100 × 63 × 7	11,09	112,86	16,78	3,19	34,99	7,23	1,78	36,10	1,46	3,28
100 × 63 × 8	12,57	126,96	19,01	3,18	39,21	8,17	1,77	40,50	1,50	3,32
100 × 63 × 10	15,47	153,95	23,32	3,15	47,18	9,99	1,75	48,60	1,58	3,40
100 × 65 × 7	11,23	114,05	16,87	3,19	38,32	7,70	1,85	38,00	1,52	3,24
100 × 65 × 8	12,73	128,31	19,11	3,18	42,96	8,70	1,84	42,64	1,56	3,28
100 × 65 × 10	15,67	155,52	23,45	3,15	51,68	10,64	1,82	51,18	1,64	3,37
110 × 70 × 6,5	11,45	142,42	19,11	3,53	45,61	8,42	2,00	46,80	1,58	3,55
110 × 70 × 8	13,93	171,54	23,22	3,51	54,64	10,20	1,98	55,90	1,64	3,61
125 × 80 × 7	14,06	226,53	26,67	4,01	73,73	11,89	2,29	74,70	1,80	4,01
125 × 80 × 8	15,98	225,62	30,26	4,00	80,95	13,47	2,28	84,10	1,84	4,05
125 × 80 × 10	19,70	311,61	37,27	3,98	100,47	16,52	2,26	102,00	1,92	4,14
125 × 80 × 12	23,36	364,79	44,07	3,95	116,84	19,46	2,24	118,00	2,00	4,22
140 × 90 × 8	18,00	363,68	38,25	4,49	119,79	17,19	2,58	121,00	2,03	4,49
140 × 90 × 10	22,24	444,45	47,19	4,47	145,54	21,14	2,58	147,00	2,12	4,58
160 × 100 × 9	22,87	605,97	56,04	5,15	186,03	23,96	2,85	194,00	2,24	5,19
160 × 100 × 10	25,28	666,59	61,91	5,13	204,09	26,42	2,84	213,00	2,28	5,23
160 × 100 × 12	30,04	784,22	73,42	5,11	238,75	31,23	2,82	249,00	2,36	5,32
160 × 100 × 14	34,72	897,19	84,65	5,08	271,60	35,89	2,80	282,00	2,43	5,40
180 × 110 × 10	28,33	952,28	78,59	5,80	276,37	32,27	3,12	295,00	2,44	5,88
180 × 110 × 12	33,69	1122,56	93,33	5,77	324,09	38,20	3,10	348,00	2,52	5,97
200 × 125 × 11	34,87	1449,02	107,31	6,45	446,36	45,98	3,58	465,00	2,79	6,50
200 × 125 × 12	37,89	1568,19	116,51	6,43	481,93	49,85	3,57	503,00	2,83	6,54
200 × 125 × 14	43,87	1800,83	134,64	6,41	550,77	57,43	3,54	575,00	2,91	6,62
200 × 125 × 16	49,77	2026,08	152,41	6,38	616,66	64,83	3,52	643,00	2,99	6,71



h – высота двутавра;

b – ширина полки;

s – толщина стенки;

t – средняя толщина полки;

A – площадь поперечного сечения;

I_x, I_y – осевые моменты инерции;

W_x, W_y – осевые моменты сопротивления;

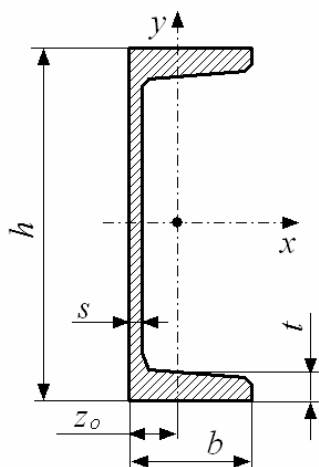
i_x, i_y – радиусы инерции;

S_x^* – статический момент полусечения

Рисунок Е.3 – Двутавры стальные горячекатаные

Таблица Е.3 – Двутавры стальные горячекатаные (по ГОСТ 8239–89)

Номер двутавра	Размер, мм				A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x^* , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см
	h	b	s	t								
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184,0	8,28	104	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100,0	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118,0	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54



h – высота швеллера;
 b – ширина полки;
 s – толщина стенки;
 t – средняя толщина полки;
 A – площадь поперечного сечения;
 I_x, I_y – осевые моменты инерции;
 W_x, W_y – осевые моменты сопротивления;
 i_x, i_y – радиусы инерции;
 S_x^* – статический момент полусечения;
 z_o – расстояния от центра тяжести до наружной грани стенки

Рисунок Е.4 – Швеллеры стальные горячекатаные серии У (с уклоном внутренних граней полок)

Таблица Е.4 – Швеллеры стальные горячекатаные (по ГОСТ 8240–97)

Но- мер- швел- лера	Размер, мм				A , см ²	I_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x^* , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	z_o , см
	h	b	s	t									
5У	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5У	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,0	8,70	3,68	1,08	1,24
8У	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	23,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10У	100	46	4,5	7,6	10,9	174,0	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12У	120	52	4,8	7,8	13,3	304,0	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14У	140	58	4,9	8,1	15,6	491,0	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
16У	160	64	5,0	8,4	18,1	747,0	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16аУ	160	68	5,0	9,0	19,5	823,0	103,0	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18У	180	70	5,1	8,7	20,7	1090,0	121,0	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18аУ	180	74	5,1	9,3	22,2	1190,0	132,0	7,32	76,1	105,0	20,0	2,18	2,13
20У	200	76	5,2	9,0	23,4	1520,0	152,0	8,07	87,8	113,0	20,5	2,20	2,07
22У	220	82	5,4	9,5	26,7	2110,0	192,0	8,89	110,0	151,0	25,1	2,37	2,21
24У	240	90	5,6	10,0	30,6	2900,0	242,0	9,73	139,0	208,0	31,6	2,60	2,42
27У	270	95	6,0	10,5	35,2	4160,0	308,0	10,90	178,0	262,0	37,3	2,73	2,47
30У	300	100	6,5	11,0	40,5	5810,0	387,0	12,00	224,0	327,0	43,6	2,84	2,52
33У	330	105	7,0	11,7	46,5	7980,0	484,0	13,10	281,0	410,0	51,8	2,97	2,59
36У	360	110	7,5	12,6	53,4	10820,0	601,0	14,20	350,0	513,0	61,7	3,10	2,68
40У	400	115	8,0	13,5	61,5	15220,0	761,0	15,70	444,0	642,0	73,4	3,23	2,75

Приложение Ж (справочное)

Механические характеристики стали

Таблица Е.3 – Механические характеристики стали

Сталь	σ_y ($\sigma_{0,2}$)	[σ]	a	b	Граничные значения гибкости	
	МПа				$\lambda_{пред}$	λ_0
Ст 2	215	143	258	0,68	105	62
Ст 3	235	157	304	1,11	100	61
20, Ст 4	255	170	328	1,07	96	60
25, Ст 5, 35Л	275	183	343	1,13	92	57
35, 45Л	314	209	390	1,40	90	55
45	353	235	440	1,64	85	52
50, 55Л	373	249	464	1,83	82	50
10Г2СД, 14Г2, 15ГС, 14ХГС, 15ХСНД	343	227	421	1,49	83	50
30ХМА, 35ХМФА, 30ГСА, 40ХНМА	834	556	981	5,46	55	28
30ХГСА	890	593	1100	6,65	58	30