

Министерство общего и профессионального образования РФ

Воронежская государственная архитектурно-строительная академия

Кафедра строительной механики

РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Методические указания

к расчетно-графической работе
по курсу "Сопротивление материалов"
для студентов всех специальностей
дневной и заочной форм обучения

Воронеж 1999

Составитель Р.Х.Биджиев

УДК 624

Расчет центрально сжатых стержней на устойчивость: Метод. указ. к расчетно-графической работе по курсу "Сопротивление материалов" / Сост.: Р.Х.Биджиев; Воронеж. гос. арх.-строи. акад. - Воронеж: 1999. 24 с.

Даются указания по расчету центрально сжатых гибких стержней на устойчивость. Приведены примеры расчета.

Предназначаются для студентов всех специальностей второго курса дневного и третьего курса заочного факультетов.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Воронежской государственной архитектурно-строительной академии.

Рецензент — И.П.Сигаев, канд. техн. наук, доцент ВГАСА.

Введение

Способность конструкции или ее элементов при внешних воздействиях сохранять первоначальную форму называется устойчивостью.

Установлено, что для центрально сжатого гибкого стержня, наряду с первоначальной формой равновесия, становятся возможны и другие. При этом значение сжимающей силы будет зависеть от материала стержня, геометрических параметров, условий закрепления и других причин. В процессе эксплуатации объекта могут возникнуть условия, приводящие к отклонению элемента от первоначального состояния, иначе говоря, к потере устойчивости. В результате изменится и характер напряженно деформированного состояния этого элемента.

Потеря устойчивости происходит и в других случаях. Например, по мере увеличения внешних сил тонкостенная труба, сжимаемая по контуру, принимает форму эллипса; тонкостенная балка, испытывающая плоский изгиб в направлении наибольшей жесткости, отклоняется от плоскости изгиба.

Наименьшее значение нагрузки, при котором система теряет способность сохранять первоначальную форму равновесия, называется критической и обозначается $P_{кр}$, $q_{кр}$.

Из-за потери устойчивости конструкций или их элементов произошли многие катастрофы инженерных объектов. Их причиной является внезапная смена форм равновесия, происходящая при нагрузках, безопасных с точки зрения прочности и жесткости элементов, и недооценка ряда факторов (неоднородность материалов, местные повреждения, некачественные соединения составных сечений и т.п.), снижающих устойчивость конструкций.

В настоящих методических указаниях рассматриваются расчеты на устойчивость невесомых центрально сжатых прямых стержней постоянного поперечного сечения с различными условиями закрепления концов. При этом полагается, что материал стержня однородный, а местная потеря устойчивости не происходит.

1. Основные положения теории

При центральном сжатии призматического стержня критическая сила $P_{кр}$ и напряжение $\sigma_{кр}$ определяются по формулам Эйлера [1]:

$$\frac{P}{F} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{l_0^2}, \quad (1.1)$$

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \quad (1.2)$$

справедливых при условии

$$\sigma_{кр} \leq \sigma_{пц} \quad (1.3)$$

или

$$\lambda \geq \lambda_{пц} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{пц}}}, \quad (1.4)$$

где E – модуль упругости материала стержня; $l_0 = \mu l$, l – приведенная и истинная длина элемента; μ – коэффициент приведения, зависящий от способов закрепления концов стержня (рис.2.1); λ – гибкость стержня, вычисляемая по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{\min}},$$

J_{\min} и i_{\min} – минимальные момент и радиус инерции поперечного сечения элемента площадью A (рис.2.2); $\sigma_{пц}$ – предел пропорциональности; $\lambda_{пц}$ – гибкость стержня при $\sigma_{кр} = \sigma_{пц}$.

Для упругопластичных материалов в случаях

$$\sigma_{т} \geq \sigma_{кр} \geq \sigma_{пц} \quad (1.5)$$

или

$$\lambda_{т} \leq \lambda \leq \lambda_{пц}, \quad (1.6)$$

а для упругохрупких при

$$\sigma_{пц} \geq \sigma_{кр} \geq \sigma_{пц} \quad (1.7)$$

или

$$\lambda_{пц} \leq \lambda \leq \lambda_{пц} \quad (1.8)$$

критическую силу и напряжение определяют по формулам Ясинского [1]:

$$P_{кр} = (a - b \lambda) \cdot A, \quad (1.9)$$

$$\sigma_{кр} = a - b \lambda. \quad (1.10)$$

В формулах (1.5)...(1.10) $\sigma_{т}$ и $\sigma_{пц}$ – пределы текучести и прочности (временное сопротивление) материала; $\lambda_{т}$ (или $\lambda_{пц}$) – наибольшая гибкость, при которой катастрофическое состояние стержня наступает не из-за потери устойчивости, а из-за потери прочности; a и b – константы, зависящие от материала стержня.

Условие устойчивости для центрально сжатых стержней имеет вид

$$P \leq \frac{P_{кр}}{K_y} \quad (1.11)$$

или

$$\sigma \leq \frac{P_{кр}}{A \cdot K_y} = \frac{\sigma_{кр}}{K_y}, \quad (1.12)$$

где P и σ - действующие сила и напряжение; K_y - коэффициент запаса по устойчивости.

Стержни малой гибкости ($\lambda < \lambda_T$ и $\lambda < \lambda_{нч}$) рассчитывают только на прочность

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq R = \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (1.13)$$

где R_n и R - нормативное и расчетное сопротивления материала; γ_m - коэффициент надежности по материалу.

Отметим, что если

$$K_y \geq \gamma_m, \quad (1.14)$$

то обеспечение условия (1.12) приводит к обязательному удовлетворению условия (1.13) независимо от гибкости стержня.

Согласно СНиП [2, 3] центрально сжатые стержни рассчитывают по формуле

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq \varphi R, \quad (1.15)$$

при использовании которой одновременно обеспечивается и прочность, и устойчивость. В (1.15) φ - коэффициент продольного изгиба, учитывающий степень снижения расчетного сопротивления материала. Он зависит от гибкости λ и вида материала.

2. Исходные данные к заданию

Студенту предлагается решить четыре задачи [4]. Каждой задаче соответствуют определенные типы расчетных схем стержней (рис.2.1) и различные формы поперечных сечений (рис.2.2).

При выполнении работы принимать:

для стали - $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $R = 200$ МПа, $K_y = 2$, $\lambda_{нч} = 100$, $\lambda_T = 40$, константы формулы Ясинского $a = 310$ МПа, $b = 1,14$ МПа;

для древесины (сосна) - $E = 10^4$ МПа, $R = 10$ МПа, $K_y = 3$, $\lambda_{нч} = 70$, $\lambda_{нч} = 30$, $a = 29,3$ МПа, $b = 0,194$ МПа; коэффициенты φ из табл.2.1.

В задачах 1 и 2 при $\lambda < \lambda_T$ ($\lambda_{нч}$) расчет необходимо вести из условий прочности.

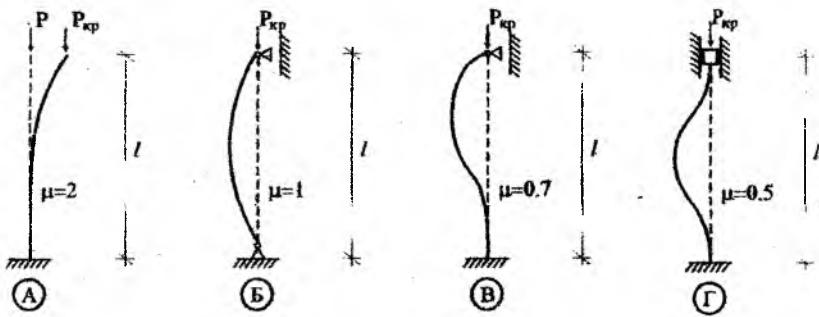


Рис.2.1. Расчетные схемы стержней

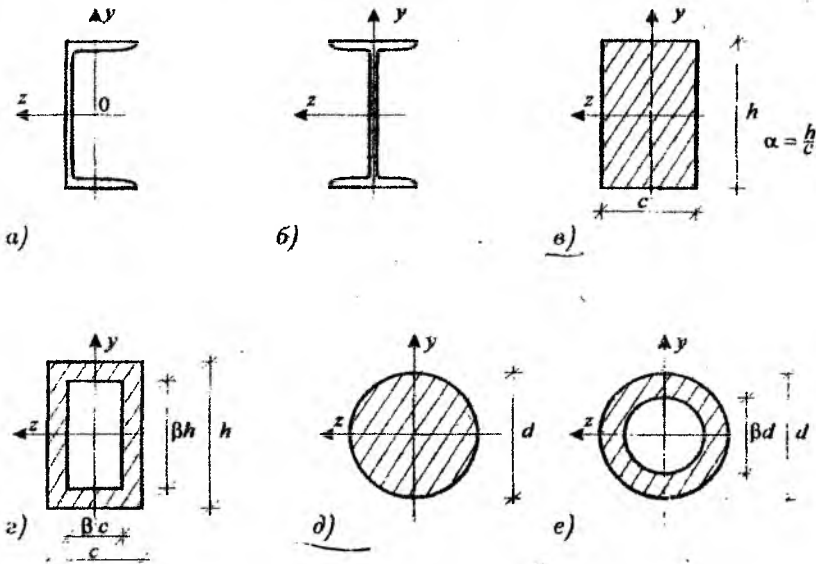


Рис.2.2. Формы поперечных сечений стержней

В задачах 2 и 4 стержни сплошного поперечного сечения (формы в и д) считать изготовленными из сосны, а тонкостенные – из стали; в случае, когда требуемая площадь превосходит указанную в таблице сортамента для одного профиля – назначить два или более несвязных швеллера или двутавра.

Таблица 2.1

Зависимость коэффициента φ от гибкости λ

Сталь ($R = 200$ МПа)				Сосна ($R = 10$ МПа)			
λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ
0	1	110	0,537	0	1	110	0,248
10	0,988	120	0,479	10	0,992	120	0,208
20	0,967	130	0,425	20	0,968	130	0,178
30	0,939	140	0,376	30	0,928	140	0,153
40	0,906	150	0,328	40	0,872	150	0,133
50	0,869	160	0,290	50	0,800	160	0,117
60	0,827	170	0,259	60	0,712	170	0,104
70	0,782	180	0,233	70	0,608	180	0,093
80	0,734	190	0,210	80	0,469	190	0,083
90	0,665	200	0,191	90	0,370	200	0,075
100	0,599	210	0,174	100	0,300	210	0,068
		220	0,160			220	0,062

Для прокатных профилей (швеллера и двутавра) справочные геометрические характеристики представлены в прил. I и II.

3. Задание к расчетной работе

Студентами специальностей ПГС, АД, СДМ и ГСХ выполняются следующие задачи.

Задача 1. Даны: тип расчетной схемы стержня и его длина l_1 ; три вида форм стальных сечений, один из которых прокатный профиль (двутавр или швеллер) известного номера, а формы сечений двух других (сплошного и тонкостенного) заданы.

Требуется: используя формулы Эйлера или Ясинского, определить допускаемую из условия устойчивости сжимающую силу для стойки из прокатного профиля. Из условия равенства между собой площадей прокатного профиля, сплошного и тонкостенного сечений определить допускаемые сжимающие силы для стоек сплошного и тонкостенного сечений.

Полученные значения сжимающих сил сравнить между собой.

Задача 2. Даны: тип расчетной схемы стержня и его длина l_2 , материал, форма поперечного сечения (непрокатного профиля) и сжимающая сила P_2 .

Требуется: по формулам Эйлера или Ясинского подобрать размеры поперечного сечения.

Задача 3. Даны: два вида расчетных схем стержня и его длина l_3 , форма сечения из прокатного профиля (швеллер или двутавр) и его номер.

Требуется: для каждой расчетной схемы при одинаковой длине l_3 определить допускаемые сжимающие силы, используя коэффициент продольного изгиба φ .

Задача 4. Даны: допускаемая сжимающая сила P_4 ; расчетная схема, материал и длина l_4 стержня, два типа сечений (один из них прокатного профиля).

Требуется: подобрать размеры непрокатного сечения и номер прокатного профиля, используя коэффициент продольного изгиба.

Студентами специальностей ПСК, ТВ, ВВ и Арх выполняются следующие задачи.

Задача 1. Даны: тип расчетной схемы стержня и его длина l_1 , сечение в виде прокатного профиля (двутавр или швеллер) известного номера.

Требуется: используя формулы Эйлера или Ясинского, определить допускаемую из условия устойчивости сжимающую силу.

Задача 2. Даны: тип расчетной схемы стержня и его длина l_2 , форма поперечного сечения (непрокатного профиля) и сжимающая сила P_2 .

Требуется: по формулам Эйлера или Ясинского подобрать размеры поперечного сечения.

Задача 3. Даны: два вида расчетных схем стержня (студент выбирает первую из них) и его длина l_3 , форма поперечного сечения из прокатного профиля (швеллер или двутавр) и его номер.

Требуется: определить допускаемую сжимающую силу P_3 , используя коэффициент продольного изгиба φ .

Задача 4. Даны: допускаемая сжимающая сила P_4 , расчетная схема, длина l_4 стержня, сечение в виде прокатного профиля.

Требуется: подобрать номер прокатного профиля, используя коэффициент продольного изгиба φ .

Задание выполняется по индивидуальному шифру каждого студента, состоящему из шести букв: первых и вторых букв фамилии, имени и отчества студента.

В соответствии с шифром из табл.3.1 принимаются исходные данные для всех четырех задач.

Например, студент Степанов Игорь Николаевич имеет шифр

С Т И Г Н И

Таблица 3.1

Исходные данные к задачам

Бу- квы	Виды расчетных схем стержней и их длины в задачах:				Коэффициенты для сечений		Формы сечений и вид материала для стержней в задачах				Допускаемые сжимающие силы ($P_{\text{доп}}$, кН) в задачах	
	1	2	3	4	α	β	1	2	3	4	2	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
А	Б-3,2	А-3,6	А,В-1,8	Г-3,8	1,2	0,6	а14, в, е	з(ст)	б16	а, в(др)	120	150
Б	А-3,2	Б-3,4	Б,В-4,0	Г-3,0	1,4	0,8	а10, д, з	е(ст)	б14	б, з(ст)	140	160
В	А-3,4	Б-4,0	В,Г-2,8	Г-4,2	2,0	0,7	а16, д, е	в(др)	а16	б, д(др)	120	180
Г	А-2,4	Б-3,6	А,Г-1,6	В-4,8	1,8	0,8	а18, в, с	д(др)	а12	а, з(ст)	140	160
Д	Б-3,8	А-3,0	В,Г-4,2	В-3,6	1,6	0,6	б10, з, д	с(ст)	а14	а, е(ст)	160	180
Е	Б-3,0	А-3,5	А,Г-2,0	В-4,0	1,4	0,5	б12, в, з	з(ст)	б18	а, с(ст)	140	140
Ж	Б-3,6	А-2,4	В,Г-3,5	Г-4,2	1,4	0,6	б14, д, е	в(др)	а16	б, в(др)	100	200
З	А-2,4	Б-3,5	А,В-1,8	Г-4,0	1,6	0,5	б16, з, д	в(др)	а14	б, д(др)	120	200
И	А-2,6	Б-3,6	В,Г-3,2	В-3,8	1,2	0,7	б16, з, д	с(ст)	а10	а, д(др)	160	220
К	А-3,0	Б-4,0	А,В-1,6	Г-3,8	1,4	0,8	а10, в, е	з(ст)	б16	б, в(др)	140	240
Л	Б-3,2	А-3,0	А,В-2,0	Г-3,6	1,4	0,8	б10, в, е	з(ст)	а14	б, з(ст)	180	240
М	А-2,8	Б-3,8	Б,В-3,5	Г-4,0	1,2	0,9	а12, в, д	д(др)	а14	а, з(ст)	160	220
Н	А-3,0	Б-4,0	Б,Г-3,8	В-3,6	1,4	0,9	б14, в, д	в(др)	б10	б, е(ст)	200	200
О	А-3,2	Б-3,8	В,Г-3,6	Г-4,2	1,6	0,6	а14, з, д	д(др)	а12	а, в(др)	160	240
П	А-3,4	Б-4,2	Б,В-4,0	Г-3,8	1,8	0,8	б16, з, д	з(ст)	б12	б, в(др)	200	180
Р	Б-3,8	А-2,8	Б,В-3,6	Г-4,0	2,0	0,9	а16, д, е	з(ст)	б14	а, з(ст)	180	160
С	Б-3,6	А-3,0	А,Г-1,6	В-3,8	2,0	0,6	а14, д, е	с(ст)	б16	б, с(ст)	200	180
Т	А-2,4	Б-4,0	В,Г-4,2	В-3,6	2,2	0,7	б14, в, с	с(ст)	б14	а, д(др)	220	220
У	А-2,6	Б-3,6	В,Г-3,8	Г-4,4	2,4	0,9	а18, в, е	в(др)	а12	б, д(др)	240	240
Ф	А-2,8	Б-3,8	Б,Г-3,4	В-3,8	1,4	0,8	а16, д, е	в(др)	а14	а, с(ст)	260	260
Х	А-3,0	Б-4,0	В,Г-3,8	Г-4,0	1,4	0,6	б14, в, з	д(др)	б14	б, с(ст)	200	240
Ц	Б-4,0	А-3,2	А,Г-2,0	В-3,6	1,6	0,6	а16, в, с	з(ст)	а10	а, з(ст)	220	220
Ч	Б-3,6	А-2,2	А,Г-1,6	В-4,0	1,8	0,5	а18, в, с	д(др)	б12	а, е(ст)	180	240
Ш	Б-3,4	А-2,8	В,Г-3,8	В-4,2	1,8	0,7	б14, в, е	е(ст)	б14	б, з(ст)	160	200
Щ	А-2,8	Б-3,4	Б,Г-4,0	В-3,8	1,6	0,8	б12, в, з	з(ст)	а14	б, с(ст)	180	160
Ъ	Б-4,2	А-3,2	В,Г-3,2	Б-3,4	1,4	0,6	а14, в, е	з(ст)	б16	б, д(др)	160	180
Ы	А-3,4	Б-3,8	А,В-1,8	Г-4,2	1,6	0,8	б18, з, д	д(др)	а16	а, е(ст)	140	200
Ь	А-3,2	Б-4,0	Б,В-3,8	Г-4,0	1,2	0,6	б14, в, с	с(ст)	б18	а, з(ст)	120	180
Э	А-3,0	Б-3,6	Б,В-3,8	Г-4,0	1,6	0,8	б10, з, д	в(др)	а16	а, д(др)	160	140
Ю	А-3,2	Б-3,0	В,Г-3,4	А-2,0	1,8	0,6	а18, з, д	д(др)	б16	а, в(др)	120	160
Я	Б-3,8	А-3,0	В,Г-3,6	А-1,8	2,0	0,8	а16, з, д	в(др)	а18	б, с(ст)	140	140

По первой букве шифра из столбцов 2 и 3 (табл.3.1) принимаются расчетные схемы и длины стержней для задач 1 и 2.

По второй букве шифра по столбцам 4 и 5 принимаются аналогичные данные для задач 3 и 4.

По третьей букве из столбцов 6 и 7 принимаются значения параметров α и β непрокатных сечений (см. рис.2.2, в, г, е).

По четвертой букве из столбцов 8 и 9 принимаются для задач 1 и 2 формы поперечных сечений и вид материала стержней.

По пятой букве шифра по данным столбцов 10 и 11 принимаются аналогичные данные для задач 3 и 4.

По шестой букве из столбцов 12 и 13 принимаются значения допускаемых сжимающих сил для задач 2 и 4.

В столбце 1 табл.3.1 представлены соответствующие буквы шифра студента.

В столбце 2, 3 и 5 этой таблицы в виде сочетаний букв и чисел представлены типы расчетных схем и длины стержней для задач 1, 2 и 4. При этом буква соответствует типу расчетной схемы (рис.2.1), а расположенное справа число - длине стержня в метрах.

В столбце 4 представлены две расчетные схемы стержня (разделенные запятой) для задачи 3 при одной и той же длине этого стержня.

В столбцах 6 и 7 приведены коэффициенты α и β , представляющие собой соотношения размеров непрокатных профилей (см. рис.2.2, в, г, е).

В столбце 8 приведены три типа стальных сечений, которые разделены между собой запятыми, для задачи 1. Первым обозначен прокатный профиль, где число соответствует номеру двутавра или швеллера (см. рис.2.2.а.б). Две последующие буквы соответствуют двум непрокатным сечениям (см. рис.2.2, в, г, д, е).

В столбце 9 приведены обозначения непрокатных сечений для задачи 2 с указанием вида материала: (ст)-соответствует стали, а (др) - древесине.

В столбце 10 для задачи 3 приведен тип прокатного профиля с указанием его номера.

В столбце 11 для задачи 4 приведены два типа сечений, один из которых прокатный профиль, а другой (с указанием вида материала) непрокатное сечение.

В столбцах 12 и 13 представлены допускаемые сжимающие силы для задач 2 и 4.

Для наглядности исходные данные, соответствующие шифру **СТУДЕНТ** в табл.3.1 подчеркнуты.

4. Пояснения к расчетной работе

4.1. Задача 1

1. Прокатный профиль. Выписывается номер прокатного профиля (двутавра или швеллера), геометрические характеристики – площадь сечения A_n , минимальные момент J_n и радиус i_n инерции, а также ГОСТ, по которому приняты эти характеристики.

В зависимости от гибкости элемента $\lambda = \mu l_1 / i_n$ по формуле (1.1) или (1.9) определяют критическую $P_{кр,n}$, а затем из условия (1.11), в том числе и при $\lambda < \lambda_T$ (или $\lambda < \lambda_{нч}$), – допускаемую $P_{доп,n}$ силы.

2. Сплошное сечение. Из условия равенства между собой площадей A_n прокатного, и A_c – сплошного сечений назначаются размеры сплошного поперечного сечения. Вычисляют минимальные момент J_c и радиус i_c инерции. Находят λ , $P_{кр,c}$ и $P_{доп,c}$.

3. Тонкостенное сечение. Устанавливают поперечные размеры заданного вида тонкостенного сечения, исходя из условия $A_T = A_n$. Вычисляют J_T , i_T , λ , $P_{кр,T}$, $P_{доп,T}$.

Сравнивают между собой $P_{доп,n}$, $P_{доп,c}$, $P_{доп,T}$, делают вывод, какое из рассмотренных сечений является наиболее рациональным.

Примечание: студентами специальностей ПСК, ТВ, ВВ и Арх допускаемые сжимающие силы для стержней со сплошным и тонкостенным сечениями не определяются.

4.2. Задача 2

Записываются исходные данные: P_2 , l_2 , α , β , материал, μ , $\lambda_{нч}$, λ_T (или $\lambda_{нч}$), a , b , K_y , E .

По формуле Эйлера определяют требуемый минимальный момент инерции J_{min}

$$J_{min} = \frac{P_{кр} \cdot l_0^2}{\pi^2 E} = \frac{P_2 \cdot K_y \cdot l_0^2}{\pi^2 E} \quad (4.1)$$

При известных характеристиках α , β и форме поперечного сечения стержня непрокатного профиля (см. рис.2.2, в, з, д, е) определяют размеры поперечного сечения, минимальный радиус инерции i_{min} , гибкость λ .

Для выяснения правомерности применения формулы Эйлера проверяют условие (1.4). Если оно выполняется, то размеры поперечного сечения найдены верно. После чего исследуют критерий (1.11).

В случае $\lambda_T < \lambda < \lambda_{нч}$ (или $\lambda_{нч} < \lambda < \lambda_{нч}$) используют формулу Ясинского

$$P_{кр} = P_2 \cdot K_y = A(a - b\lambda). \quad (4.2)$$

Так как

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{\min}} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}}, \quad (4.3)$$

то получим

$$P_2 \cdot K_y = A \cdot a - A \cdot b \cdot \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}}. \quad (4.4)$$

В зависимости от типа сечения и характеристик α и β из уравнения (4.4) определяют размеры c или h (для сечений рис.2.2, в, г) или d (для сечений рис.2.2, д, е). Затем находят A , J_{\min} , i_{\min} , λ , $P_{кр}$ и проверяют условие (1.6) или (1.8) и (1.11).

При $\lambda < \lambda_T$ (или $\lambda < \lambda_{нч}$) находят требуемую площадь $A = P \cdot K_y / (a - b\lambda_T)$ или $A = P \cdot K_y / (a - b\lambda_{нч})$. Затем определяют c или h (или d), и фактические A , J_{\min} , i_{\min} , λ и исследуют критерий $P \leq A(a - b\lambda_T) / K_y$ (или вместо λ_T для упругохрупких материалов применяют $\lambda_{нч}$).

4.3. Задача 3

Указываются исходные данные: номер и ГОСТ швеллера или двутавра, соответствующие геометрические характеристики сечения A , i_{\min} ; длина стержня l_3 , расчетное сопротивление R , коэффициенты μ (для двух вариантов закрепления концов стержня).

Находят гибкость λ . Используя данные табл.2.1 и применяя линейное интерполирование, вычисляют соответствующий этой гибкости коэффициент продольного изгиба φ .

Исходя из уравнения (1.15), определяют соответствующие двум расчетным схемам допускаемые сжимающие силы P_3 .

Если $\lambda > 220$, то длину стойки необходимо уменьшить в два раза.

Примечание: студентами специальностей ПСК, ТВ, ВВ и Арх допускаемая сжимающая сила определяется только для первой из указанных в табл.3.1 расчетных схем.

4.4. Задача 4

Выписываются: P_4 , l_4 , α , β , материал, R , μ . В рассматриваемом случае формула (1.15) содержит два неизвестных: площадь A и коэффициент

φ . Поэтому подбор сечения производится методом последовательных приближений.

1. Непрокатное сечение (рис.2.2, в, г, д, е). Выполняется только студентами специальностей ПГС, АД, СДМ и ГСХ.

В первом приближении задаются $\varphi_1 = 0,5$. По формуле (1.15) находят величину площади поперечного сечения A_1 , по которой определяют размеры поперечного сечения, а также минимальный радиус инерции i_1 . Затем определяют гибкость λ_1 , при помощи которой по табл.2.1 находят уточненное значение φ'_1 . Если окажется, что $\lambda_1 > 220$, то в первом приближении рекомендуется принять $\varphi_1 < 0,5$. Проверяют условие

$$\sigma = \frac{P_4}{\varphi_1 A_1} \leq R. \quad (4.5)$$

Затем определяют расхождение между σ и R :

$$\delta = \frac{\sigma - R}{R} \cdot 100\%.$$

Если $|\delta| \leq 5\%$, то расчет окончен.

В случае $|\delta| > 5\%$ переходят ко второму приближению. При этом коэффициент φ_2 определяют по формуле

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'_1}{2}.$$

Далее расчет проводят в той же последовательности, что и в первом приближении. Процесс последовательных приближений оканчивают тогда, когда расхождение между σ и R не превысит $\pm 5\%$.

2. Прокатный профиль. Выполняется студентами всех специальностей.

В первом приближении при $\varphi_1 = 0,5$ по формуле (1.15) находят A . По сортаменту (см. прил. I и II) определяют: номер профиля (двутавра или швеллера), площадь которого наиболее близка к A ; минимальный радиус i_1 . Вычисляют гибкость λ_1 , а по табл.2.1 находят уточненное значение φ'_1 . Проверяют условие (4.5).

При $\sigma > R$ по сортаменту выбирают следующий в порядке возрастания площади номер прокатного профиля. Определяют A_2 , i_2 , вычисляют λ_2 , а по табл.2.1 находят φ_2 .

При $\sigma < R$ по сортаменту выбирают следующий (меньший по площади) профиль. Определяют A_2 , i_2 , λ_3 , φ_3 .

Необходимо отметить, что при подборе сечения из прокатного профиля не всегда можно добиться согласно (4.5) расхождения σ и R в 5%. Поэтому процесс последовательных приближений оканчивают в случае $\sigma \leq 1.05R$.

5. Пример расчета

5.1. Задача 1 Расчетная схема стойки согласно рис.2.1,В. Материал - сталь: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $a = 310$ МПа, $b = 1,14$ МПа, $\lambda_{nc} = 100$, $\lambda_T = 40$. Длина стержня $l_1 = 3,0$ м, $\mu = 0,7$, $l_0 = \mu \cdot l_1 = 0,7 \cdot 3 = 2,1$ м. $K_y = 2$, $\alpha = 1,25$, $\beta = 0,8$.

5.1.1. Прокатный профиль - швеллер N16 (ГОСТ 8240-89):

$$A_w = 18,1 \text{ см}^2, J_{\min} = J_y = 63,3 \text{ см}^4, i_{\min} = i_y = 1,87 \text{ см} = 0,0187 \text{ м}.$$

Определяем гибкость стержня $\lambda = 2,1/0,0187 = 112,3$. Так как $\lambda = 112,3 > \lambda_{nc} = 100$, то критическую силу находим по формуле Эйлера (1.1)

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{l_0^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 63,3 \cdot 10^{-8}}{2,1^2} = 0,283 \text{ МН} = 283 \text{ кН}.$$

Допускаемая сила $P_{доп,y} = P_{кр}/K_y = 283/2 = 141,5$ кН.

5.1.2. Сплошное прямоугольное сечение. Из условия $A_w = A_c = h \cdot c = \alpha \cdot c^2$ (см. рис.2.2,в) получим, что

$$c = \sqrt{\frac{A_w}{\alpha}} = \sqrt{\frac{18,1}{1,25}} = 3,8 \text{ см}; \quad h = \alpha c = 1,25 \cdot 3,8 = 4,75 \text{ см}.$$

Принимаем $h = 4,8$ см. Вычисляем геометрические характеристики

$$A_c = c \cdot h = 3,8 \cdot 4,8 = 18,2 \text{ см}^2; \quad J_{\min} = J_y = \frac{h \cdot c^3}{12} = \frac{4,8 \cdot 3,8^3}{12} = 21,9 \text{ см}^4.$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A_c}} = \sqrt{\frac{21,9}{18,2}} = 1,1 \text{ см}; \quad \lambda = \frac{l_0}{i_{\min}} = \frac{2,1}{0,011} = 191.$$

При гибкости $\lambda > \lambda_{nc} = 100$ критическую силу определяем по формуле Эйлера (1.1)

$$P_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 21,9 \cdot 10^{-8}}{2,1^2} = 0,098 \text{ МН} = 98 \text{ кН}.$$

Допускаемая сила $P_{доп,c} = P_{кр}/K_y = 98/2 = 49$ кН.

5.1.3. Тонкостенное сечение замкнутого профиля. Для примера примем корабчатое сечение (см. рис.2.2,з). Из условия $A_T = A_{ш}$ определим размеры c и h

$$A_T = h \cdot c - \beta \cdot h \cdot \beta \cdot c = hc - \beta^2 hc = hc(1 - \beta^2) = \alpha c^2(1 - \beta^2);$$

$$\alpha c^2(1 - \beta^2) = A_{ш};$$

$$c = \sqrt{\frac{A_{ш}}{\alpha(1 - \beta^2)}} = \sqrt{\frac{18,1}{1,25(1 - 0,8^2)}} = 6,3 \text{ см}; \quad h = 1,25 \cdot 6,3 = 7,9 \text{ см}.$$

Определим геометрические характеристики сечения

$$A_T = \alpha \cdot c^2(1 - \beta^2) = 1,25 \cdot 6,3^2(1 - 0,8^2) = 17,9 \text{ см}^2;$$

$$J_{\min} = J_y = \frac{hc^3}{12} - \frac{\beta h(\beta c)^3}{12} = \frac{hc^3}{12}(1 - \beta^4) = \frac{1,25 \cdot 6,3^3}{12}(1 - 0,8^4) = 97,2 \text{ см}^4;$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{97,2}{17,9}} = 2,33 \text{ см}; \quad \lambda = \frac{2,1}{0,0233} = 90,1.$$

Так как $\lambda_T = 40 < \lambda = 90,1 < \lambda_{nc} = 100$, то $P_{кр}$ вычисляем по формуле Ясинского (1.9)

$$P_{кр} = A_T(a - b\lambda) = 17,9 \cdot 10^{-4}(310 - 1,14 \cdot 90,1) = 0,371 \text{ МН} = 371 \text{ кН}.$$

Тогда $P_{доп.т} = 371/2 = 185,5 \text{ кН}$.

Анализируя результаты, заметим, что тонкостенное сечение является предпочтительным при изготовлении гибких сжатых стержней, так как при одинаковой площади и условиях закрепления для него получено наибольшее из допускаемых сил.

5.2. Задача 2. Пользуясь формулой Эйлера или Ясинского, подобрать прямоугольное поперечное сечение стержня, сжимаемого силой $P = 0,18 \text{ МН}$. Расчетную схему стержня примем из рис.2.1Б. материал сосна: $E = 10^4 \text{ МПа}$, $a = 29,3 \text{ МПа}$, $b = 0,194 \text{ МПа}$; $\lambda_{nc} = 70$, $\lambda_{nc} = 30$. Длина стержня $l = 2,8 \text{ м}$, $\mu = 1$, $l_0 = \mu l = 1 \cdot 2,8 = 2,8 \text{ м}$, $K_y = 3,0$, $\alpha = 1,25$.

Для рассматриваемого сечения $A = c \cdot h = \alpha c^2$, $J_{\min} = J_y = \frac{hc^3}{12} = \frac{\alpha c^4}{12}$.

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{\alpha c^4}{12 \cdot \alpha \cdot c^2}} = \frac{c}{\sqrt{12}}, \quad \lambda = \frac{l_0 \sqrt{12}}{c}.$$

Воспользуемся формулой Эйлера

$$P \cdot K_y = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{l_0^2}; \quad J_{\min} = \frac{\alpha c^4}{12} = \frac{P \cdot K_y \cdot l_0^2}{\pi^2 E}.$$

$$\text{Отсюда } c = \sqrt{\frac{12 \cdot P \cdot K_y \cdot l_0^2}{\alpha \pi^2 E}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 0,18 \cdot 3 \cdot 0,2 \cdot 8^2}{1,25 \cdot 3,14^2 \cdot 10^4}} = 0,142 \text{ м} = 14,2 \text{ см.}$$

Примем $c = 15 \text{ см}$, $h = 1,25 \cdot 15 = 18,8 \text{ см} \approx 19 \text{ см}$.

Проверим правильность применения формулы Эйлера. Для этого определим гибкость

$$A = 1,25 \cdot 15^2 = 281 \text{ см}^2, \quad J_{\min} = \frac{1,25 \cdot 15^4}{12} = 5273 \text{ см}^4,$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{5273}{281}} = 4,33 \text{ см} = 0,043 \text{ м}, \quad \lambda = \frac{2,8}{0,043} = 65,1.$$

Так как $\lambda_{\text{нч}} = 30 < \lambda = 65,1 < \lambda_{\text{нч}} = 70$, то формулой Эйлера пользоваться нельзя.

Вспользуемся формулой Ясинского

$$P \cdot K_y = A(a - b\lambda) = \alpha \cdot c^2 \left(a - b \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{c} \right) = \alpha a c^2 - \alpha b l_0 \sqrt{12} c$$

или $0,18 \cdot 3 = 1,25 \cdot 29,3 c^2 - 1,25 \cdot 0,194 \cdot 2,8 \cdot 3,46 c$.

После преобразований получим квадратное уравнение

$$c^2 - 0,0642 c - 0,0147 = 0.$$

Корни этого уравнения будут равны $c_1 = 0,158$ и $c_2 = -0,093$. Отрицательный корень не устраивает условие задачи. Тогда принимаем $c = c_1 = 0,158 \text{ м}$. Окончательно примем $c = 0,16 \text{ м}$, $h = 1,25 \cdot 0,16 = 0,20 \text{ м}$.

Определим гибкость и критическую силу

$$\lambda = \frac{2,8 \cdot \sqrt{12}}{0,16} = 60,6; \quad P_{\text{кр}} = (29,3 - 0,194 \cdot 60,6) 1,25 \cdot 0,16^2 = 0,561 \text{ МН.}$$

Проверим критерии (1.8) и (1.11):

$$\lambda_{\text{нч}} = 30 < \lambda = 60,6 < \lambda_{\text{нч}} = 70,$$

$$P = 0,18 \text{ МН}, \quad P_{\text{кр}}/K_y = 0,561/3 = 0,187 \text{ МН},$$

$$P = 0,18 \text{ МН} < \frac{P_{\text{кр}}}{K_y} = 0,187 \text{ МН.}$$

Следовательно, формулой Ясинского можно пользоваться и условие устойчивости выполняется. Сечение подобрано правильно.

5.3. Задача 3. Определить при помощи коэффициента φ допускаемую сжимающую силу $P_{\text{доп}}$, которую можно приложить к стержню, изготовленному из двутавра N12 (ГОСТ 8240-89) при двух способах закрепления

концов (рис.2.1, А,Г) и длине $l = 1,2$ м. Расчетное сопротивление материала $R = 200$ МПа.

Из сортамента определяем: $A = 14,7 \text{ см}^2$, $i_{\min} = 1,38$ см.

5.3.1. Стержень с одним заземленным и другим свободным концами

($\mu = 2$)

Определим гибкость

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{2 \cdot 1,2}{0,0138} = 174.$$

По табл.2.1 находим: для $\lambda = 170$ $\varphi = 0,259$, а для $\lambda = 180$ $\varphi = 0,233$. Используя полученные данные и линейную интерполяцию найдем коэффициент φ , соответствующий гибкости $\lambda = 174$,

$$\varphi = 0,233 + \frac{(0,259 - 0,233)(180 - 174)}{180 - 170} = 0,249.$$

Определяем допускаемую силу

$$P_{\text{доп}} = \varphi \cdot R \cdot A = 0,249 \cdot 200 \cdot 14,7 \cdot 10^{-4} = 0,073 \text{ МН.}$$

5.3.2. Стержень с двумя заземленными концами ($\mu = 0,5$)

Определим гибкость

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 1,2}{0,0138} = 43,5.$$

По табл.2.1 находим: для $\lambda = 40$ $\varphi = 0,906$, а для $\lambda = 50$ $\varphi = 0,869$. Тогда по линейной интерполяции получим

$$\varphi = 0,869 + \frac{(0,906 - 0,869)(50 - 43,5)}{50 - 40} = 0,893.$$

Определяем допускаемую силу

$$P_{\text{доп}} = 0,893 \cdot 200 \cdot 14,7 \cdot 10^{-4} = 0,263 \text{ МН.}$$

5.4. Задача 4. Подобрать сплошное прямоугольное (из древесины) и двутавровое сечения для стержня длиной $l = 2,2$ м. Расчетную схему примем согласно рис.2.1,В. Для расчета применим коэффициент φ .

Допускаемая сжимающая сила $P = 0,15$ МН, $\mu = 0,7$, $\alpha = 1,25$.

5.4.1. Сплошное прямоугольное сечение

Для древесины (сосна) примем $R = 10$ МПа. Выразим геометрические характеристики через неизвестные размеры сечения

$$A = ch = \alpha c^2, \quad J_{\min} = \frac{h \cdot c^3}{12} = \frac{\alpha c^4}{12}, \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}} = \frac{c}{\sqrt{12}},$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{\min}} = \frac{l_0 \sqrt{12}}{c}, \quad l_0 = 0,7 \cdot 2,2 = 1,54 \text{ м.}$$

Вспользуемся зависимостью (1.15)

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq \varphi R.$$

Так как в этой зависимости две неизвестные (φ и A), то расчет проводим методом последовательных приближений.

В первом приближении примем $\varphi_1 = 0,5$. Тогда

$$A_1 \geq \frac{P}{\varphi_1 R} = \frac{0,15}{0,5 \cdot 10} = 0,03 \text{ м}^2, \quad c = \sqrt{\frac{A_1}{\alpha}} = \sqrt{\frac{0,03}{1,25}} = 0,155 \text{ м.}$$

Определим гибкость $\lambda = 1,54 \cdot 3,46/0,155 = 34,4$. Для этой гибкости определяем уточненное значение φ'_1 , соответствующее древесине (табл.2.1)

$$\varphi'_1 = 0,872 + \frac{(0,928 - 0,872)(40 - 34,4)}{40 - 30} = 0,903.$$

Проверим напряжение

$$\sigma = \frac{P}{\varphi'_1 A_1} = \frac{0,15}{0,903 \cdot 0,03} = 5,53 \text{ МПа} < R = 10 \text{ МПа.}$$

Ввиду большого запаса прочности и устойчивости необходимо продолжить расчет.

Во втором приближении принимаем

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'_1}{2} = \frac{0,5 + 0,903}{2} = 0,702, \quad A_2 \geq \frac{0,15}{0,702 \cdot 10} = 0,021 \text{ м}^2,$$

$$c = \sqrt{\frac{0,021}{1,25}} = 0,130 \text{ м}, \quad \lambda = 1,54 \cdot 3,46/0,130 = 41, \quad \varphi'_2 = 0,865;$$

$$\sigma = \frac{0,15}{0,865 \cdot 0,021} = 8,25 \text{ МПа} < R = 10 \text{ МПа.}$$

Расхождение между σ и R составляет 17,5%.

В третьем приближении принимаем

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi'_2}{2} = \frac{0,702 + 0,865}{2} = 0,784, \quad A_3 \geq \frac{0,15}{0,784 \cdot 10} = 0,019 \text{ м}^2.$$

$$c = \sqrt{\frac{0,019}{1,25}} = 0,123 \text{ м}, \quad \lambda = 1,54 \cdot 3,46/0,123 = 43,3, \quad \varphi'_3 = 0,848.$$

$$\sigma = \frac{0,15}{0,848 \cdot 0,019} = 9,31 \text{ МПа} < R = 10 \text{ МПа}.$$

Расхождение между σ и R составляет

$$\delta = \frac{10 - 9,31}{10} \cdot 100\% = 6,9\%, \quad \delta > 5\%.$$

Расчет необходимо продолжить.

В четвертом приближении принимаем

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_3 + \varphi'_3}{2} = \frac{0,784 + 0,848}{2} = 0,816, \quad A_4 \geq \frac{0,15}{0,816 \cdot 10} = 0,018 \text{ м}^2.$$

$$c = \sqrt{\frac{0,018}{1,25}} = 0,12 \text{ м}, \quad \lambda = 1,54 \cdot 3,46/0,12 = 44,4, \quad \varphi'_4 = 0,84.$$

$$\sigma = \frac{0,15}{0,84 \cdot 0,018} = 9,92 \text{ МПа} < R = 10 \text{ МПа}.$$

Расхождение между σ и R составляет 0,8%. Таким образом, требуемая площадь поперечного сечения $A_4 = 0,018 \text{ м}^2$. Принимаем следующие размеры поперечного сечения:

$$c = 0,12 \text{ м}; \quad h = \alpha c = 1,25 \cdot 0,12 = 0,15 \text{ м}.$$

5.4.2. Сечение из прокатного профиля (швеллер)

Для стали принимаем $R = 200 \text{ МПа}$.

Первое приближение. Принимаем $\varphi = 0,5$,

$$A \geq \frac{0,15}{0,5 \cdot 200} = 0,0015 \text{ м}^2 = 15 \text{ см}^2.$$

По сортаменту (см. ГОСТ 8240-89 в прил. II) выбираем швеллер N14, для которого: $A_1 = 15,6 \text{ см}^2$, $J_{\min} = 45,4 \text{ см}^4$, $i_{\min} = 1,7 \text{ см}$.

Определяем гибкость

$$\lambda = \frac{1,54}{0,017} = 90,6.$$

По табл. 2.1 определяем φ'_1

$$\varphi'_1 = 0,599 + \frac{(0,665 - 0,599)(100 - 90,6)}{100 - 90} = 0,661.$$

Проверим напряжение

$$\sigma = \frac{0,15}{0,661 \cdot 0,00156} = 145,5 \text{ МПа} < R = 200 \text{ МПа.}$$

Ввиду большого запаса прочности и устойчивости расчет необходимо продолжать.

Во втором приближении принимаем

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'_1}{2} = \frac{0,5 + 0,661}{2} = 0,58, \quad A \geq \frac{0,15}{0,58 \cdot 200} = 0,0013 \text{ м}^2.$$

По сортаменту выбираем швеллер N12, для которого: $A_2 = 13,3 \text{ см}^2$,
 $J_{\min} = 31,2 \text{ см}^4$, $i_{\min} = 1,53 \text{ см}$.

Определяем гибкость

$$\lambda = \frac{1,54}{0,0153} = 100,7.$$

По табл.2.1 определяем φ'_2

$$\varphi'_2 = 0,537 + \frac{(0,599 - 0,537)(110 - 100,7)}{110 - 100} = 0,595.$$

Проверим напряжение

$$\sigma = \frac{0,15}{0,595 \cdot 0,00133} = 189,5 \text{ МПа} < R = 200 \text{ МПа.}$$

Определим погрешность

$$\delta = \frac{189,5 - 200}{200} \cdot 100\% = |-5,2\%| > 5\%.$$

Перейдем к третьему приближению. Принимаем следующий (меньший по площади сечения) номер швеллера. Это швеллер N10, для которого: $A_3 = 10,9 \text{ см}^2$, $J_{\min} = 20,4 \text{ см}^4$, $i_{\min} = 1,37 \text{ см}$.

Определяем гибкость

$$\lambda = \frac{1,54}{0,0137} = 112,4.$$

По табл.2.1 определяем $\varphi_3 = 0,523$.

Проверим напряжение

$$\sigma = \frac{0,15}{0,523 \cdot 0,00109} = 263 \text{ МПа} > R = 200 \text{ МПа.}$$

Перенапряжение составляет 31,5%. Этого допускать нельзя.

Следовательно, принимаем результаты второго приближения швеллер N12.

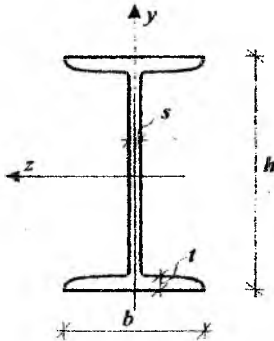
Контрольные вопросы

1. В чем заключается потеря устойчивости центрально сжатого стержня?
2. Какие сила и напряжение называются критическими?
3. Запишите формулы Эйлера для критических силы и напряжения.
4. Относительно какой оси вычисляется момент инерции поперечного сечения стержня при определении критической силы?
5. Что называется приведенной длиной стержня?
6. Чему равен коэффициент приведения длины μ при различных способах закрепления концов стержня?
7. Как определяется радиус инерции поперечного сечения и гибкость стержня?
8. Как влияют жесткость EJ_{\min} и длина l стержня на значение эйлеровой критической силы?
9. Укажите критерии применимости формулы Эйлера.
10. Запишите формулы Ясинского для критических силы и напряжения.
11. От чего зависят значения коэффициентов a и b в формуле Ясинского и как они определяются?
12. Какие условия должны выполняться при расчете центрально сжатых стержней?
13. Нарисуйте график зависимости критических напряжений от гибкости.
14. Что представляет собой коэффициент φ и как определяют его значение?
15. Расскажите порядок поперечного расчета сжатого стержня с помощью формулы Эйлера и Ясинского.
16. То же с помощью коэффициента φ .
17. Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость по формулам Эйлера или Ясинского?
18. То же с помощью коэффициента φ .

Библиографический список

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов.- М.: Высшая шк., 1995.- 560 с.
2. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции/ Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 1998.- 96 с.
3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/ Минстрой России.- М.: ГП ЦПП, 1996.- 44 с.
4. Синозерский А.Н., Баранов В.А., Биджиев Р.Х. Расчет центрально сжатых стержней на устойчивость с применением микрокалькулятора: Метод. указ. к расчетным и контрольным работам и УИРС по курсу "Сопротивление материалов"/ ВИСИ.- Воронеж, 1988.- 27 с.

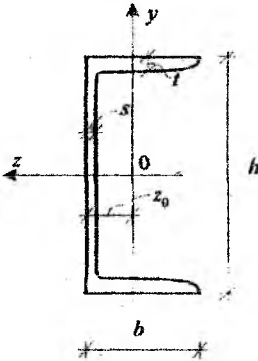
Двутавры стальные
горячекатаные
(по ГОСТ 8239-89)



- h - высота двутавра
 b - ширина полки
 s - толщина стенки
 t - средняя толщина полки
 A - площадь поперечного сечения
 J_z - момент инерции
 W_z - момент сопротивления
 S_z - статический момент полусечения
 i_z - радиус инерции

Номер двутавра	Масса (м, кг)	Размеры, мм				A , см ²	J_z , см ⁴	W_z , см ³	i_z , см	S_z , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см
		h	b	s	t								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	9,46	100	55	4,5	7,2	12	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	18,4	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	21	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	24	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	27,3	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	31,5	270	125	6	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	36,5	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	42,2	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	57	400	155	8,3	13	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10	15,2	109	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	92,6	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	108	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

Швеллеры стальные
горячекатаные
(по ГОСТ 8240-89)



- h - высота швеллера
 b - ширина полки
 s - толщина стенки
 t - средняя толщина полки
 A - площадь поперечного сечения
 J - момент инерции
 W - момент сопротивления
 i - радиус инерции
 z_0 - расстояние от оси y до
 наружной грани стенки

Номер швеллера	Масса 1 м, кг	Размеры, мм				A , см ²	J_{y_0} , см ⁴	W_{y_0} , см ³	i_{y_0} , см	S_{y_0} , см ³	J_{z_0} , см ⁴	W_{z_0} , см ³	i_{z_0} , см	z_0 , см
		h	b	s	t									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	4,84	50	32	4,4	7	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5	5,9	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
16	14,2	160	64	5	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
16a	15,3	160	68	5	9	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2
18	16,3	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	18,4	200	76	5,2	9	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07
22	21	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	24	240	90	5,6	10	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
27	27,7	270	95	6	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11	40,5	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	53,4	10830	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68
40	48,3	400	115	8	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

Оглавление

Введение	3
1. Основные положения теории	3
2. Исходные данные к заданию	5
3. Задание к расчетной работе	7
4. Пояснения к расчетной работе	11
5. Пример расчета	14
6. Контрольные вопросы	21
Библиографический список	21
Приложение I	22
Приложение II	23

РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Методические указания по сопротивлению материалов
для студентов всех специальностей — дневной и заочной форм обучения.

Составитель — д.т.н., проф. Рашид Хамзатович Биджиев

Редактор Аграновская Н.Н.

Подп. в печать 4 05 99 г. Формат 60 × 84/16. Уч.-изд. л. 1,5. Усл.-
печ. 1,6. Бумага для множительных аппаратов. Тираж 1000 экз.
Заказ N 263.

Отпечатано на ротационной машине Воронежской государственной архитек-
турно-строительной академии
394006, Воронеж, ул. 25-летия Октября, 84