

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

М.А. Салахутдинов, И.Л. Кузнецов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебно-методическое пособие

Казань  
2019

УДК 624.014  
ББК 38.54  
С16

**Салахутдинов М.А., Кузнецов И.Л.**

С16 Проектирование усиления металлических конструкций: Учебно-методическое пособие / М.А. Салахутдинов, И.Л. Кузнецов – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2019. – 99 с.

Печатается по решению Реакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебно-методическом пособии приводятся основные положения расчета металлических конструкций при наличии дефектов и повреждений, и их усиления. Изложенный материал позволяет понять основные принципы расчета и проектирования усиления металлических конструкций и приобрести навыки для решения конкретных задач.

Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий студентам направления подготовки 08.04.01 «Строительство», направленности (профиля) «Теория и проектирование зданий и сооружений».

Рецензент:

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой МКиИС  
**Г.Н. Шмелёв**

УДК 624.014  
ББК 38.54

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2019

© Салахутдинов М.А.,  
Кузнецов И.Л., 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Занятие № 1ж Поверочный расчет ослабленного элемента при действии продольной силы с изгибом.....	4
Занятие № 2. Поверочный расчет искривленной стойки.....	6
Занятие № 3. Поверочный расчет раскоса фермы с погибью .....	10
Занятие № 4. Усиление изгибаемого элемента.....	24
Занятие № 5. Расчет усиления по критерию краевой текучести.....	27
Занятие № 6. Расчет усиления центрально-сжатой стойки из расчета на устойчивость.....	35
Занятие № 7. Расчет прогиба усиленной балки с учетом остаточного прогиба .....	39
Занятие № 8. Расчет и конструирование стропильной фермы из гнутосварных профилей.....	41
Занятие № 9. Расчет и конструирование стропильной фермы из уголков..	51
Список литературы.....	63
Приложение 1. Индивидуальное задание к занятиям.....	64
Приложение 2. Расчетные сопротивления стали, сварных и болтовых соединений, кН/см <sup>2</sup> .....	72
Приложение 3. Коэффициенты для расчета на устойчивость центрально- и внецентренно-сжатых элементов.....	78
Приложение 4. Приближенные значения радиусов инерции $i = \sqrt{I/A}$ некоторых типов сечений.....	88
Приложение 5. Сортаменты.....	89

## Занятие № 1

### ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ОСЛАБЛЕННОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНОЙ СИЛЫ С ИЗГИБОМ

Проверку прочности элементов, имеющих ослабления в виде вырезов, вырывов, подрезов и т.д., следует проводить по площади нетто с учетом эксцентриситетов от смещения центра тяжести ослабленного сечения относительно центра тяжести первоначального сечения в соответствии с указаниями п.9.1.1 СП 16.13330.2017.

Допускается вместо формулы (105) по СП 16.13330.2017 применять формулу с использованием компенсирующих добавок усилий  $N^{\text{осл}}$ ,  $M_x^{\text{осл}}$  и  $M_y^{\text{осл}}$ :

$$\left( \frac{N + N^{\text{осл}}}{A \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c} \right)^n + \frac{(M_x + M_x^{\text{осл}}) y_c}{C_x \cdot J_x \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c} + \frac{(M_y + M_y^{\text{осл}}) x_c}{C_y \cdot J_y \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (1.1)$$

где

$$N^{\text{осл}} = \sigma^{\text{осл}} \cdot A^{\text{осл}}; \quad M_x^{\text{осл}} = N^{\text{осл}} \cdot y^{\text{осл}}; \quad M_y^{\text{осл}} = N^{\text{осл}} \cdot x^{\text{осл}};$$

$$\sigma^{\text{осл}} = \sigma_f \left( 1 - \frac{A^{\text{осл}}}{A} - \frac{J_x^{\text{осл}}}{J_x} - \frac{J_y^{\text{осл}}}{J_y} \right)^{-1};$$

$x_c, y_c$  – координаты наиболее напряженной точки реального поперечного сечения относительно главных центральных осей неослабленного сечения;  $A, J_x, J_y$  – геометрические характеристики неослабленного (проектного) сечения;  $x^{\text{осл}}, y^{\text{осл}}$  – координаты центра тяжести площади ослабления относительно главных центральных осей проектного (неослабленного) сечения;  $J_x^{\text{осл}}, J_y^{\text{осл}}$  – моменты инерции ослабленного сечения относительно тех же осей;  $R_{yo}$  – расчетное сопротивление стали принимается на основании проведения контрольных испытаний опытных образцов или по сертификату (при удовлетворительном состоянии материала концентраций). Коэффициент  $\gamma_c$  определяется по табл. 1 СП 16.13330.2017.

$$\sigma_f = \frac{N}{A} + \frac{M_x \cdot y^{\text{осл}}}{J_x} + \frac{M_y \cdot x^{\text{осл}}}{J_y}$$

– напряжение в центре тяжести площади ослабления, вычисленное в координатах для неослабленного сечения при действии заданных усилий. Значения коэффициентов  $n, C_x, C_y$  в формуле (1.1) принимаются по табл. Е.1 СП 16.13330.2017 для неослабленного сечения. Данные коэффициенты учитывают влияние формы поперечного сечения при развитии пластических деформаций.

Значение предела текучести  $R_{yo}$  и временного сопротивления стали эксплуатируемых конструкций  $R_{uo}$  определяются по данным заводских сертификатов или по результатам испытаний образцов.

Если приведенные в сертификате или полученные при контрольных испытаниях значения этих величин ниже, чем предусмотренные государственными стандартами или техническими условиями на сталь, действовавшими во время строительства, то  $R_{yo}$  и  $R_{uo}$  принимаются по минимальным значениям данных сертификата или полученным при испытаниях.

Коэффициент надежности по материалу следует принимать:

– для металлических строительных конструкций, изготовленных до 1932 г., и сталей, у которых полученные при испытаниях значения предела текучести ниже 215 МПа,  $\gamma_m = 1,2$ ;

– для конструкций, изготовленных в период с 1932 по 1982 гг.,  $\gamma_m = 1,1$ , для сталей с пределом текучести ниже 380 МПа и  $\gamma_m = 1,15$  для сталей с  $\sigma_T(R_y) \geq 380$  МПа;

– для строительных конструкций, изготовленных после 1982 г., – по табл. 3 СП 16.13330.2017.

### Пример 1

Проверить прочность несущего элемента конструкции в ослабленном сечении, изготовленного из стального прокатного двутавра № 30 по ГОСТ 8239-72\*. Предел текучести по сертификату  $\sigma_T(R_y) = 345$  МПа.  $A = 46,5$  см<sup>2</sup>;  $W_x = 472$  см<sup>3</sup>;  $J_x = 7080$  см<sup>4</sup>. Площадь ослабления  $A^{\text{осл}} = 3,3$  см<sup>2</sup>. Расстояние от главной центральной оси до центра тяжести площади ослабления  $y^{\text{осл}} = 14,7$  см. Усилие, действующее в расчетном сечении:  $M_x = 102$  кН·м;  $N = 400$  кН.

### Решение

Находим напряжения, которые могли быть в месте дефекта до ослабления сечения:

$$\sigma_f = \frac{N}{A} + \frac{M_x \cdot y^{\text{осл}}}{J_x} = \frac{400}{46,5} + \frac{10200 \cdot 14,7}{7080} = 29,78 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Определяем напряжения ослабления в месте дефекта и соответствующие компенсирующие добавки усилий:

$$\sigma^{\text{осл}} = \sigma_f \left( 1 - \frac{A^{\text{осл}}}{A} - \frac{J_x^{\text{осл}}}{J_x} \right)^{-1} = \frac{29,78}{(1 - 0,071 - 0,1)} = 35,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

где

$$\frac{J_x^{\text{осл}}}{J_x} = \frac{A^{\text{осл}} \cdot (y^{\text{осл}})^2}{J_x} = \frac{3,3 \cdot 14,7^2}{7080} = 0,1;$$

$$N^{\text{осл}} = \sigma^{\text{осл}} \cdot A^{\text{осл}} = 35,91 \cdot 3,3 = 118,5 \text{ кН}; \quad M_x^{\text{осл}} = N^{\text{осл}} \cdot y^{\text{осл}} = 118,5 \cdot 0,147 = 17,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определяем расчетное сопротивление стали:

$$R_{yo} = \frac{\sigma_T}{\gamma_m} = \frac{34,4}{1,1} = 31,36 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Здесь  $\gamma_m = 1,1$ , так как сталь изготовлена до 1982 г.

Проверяем прочность элемента в ослабленном сечении:

$$\left( \frac{N + N^{\text{осл}}}{A \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c} \right)^n + \frac{(M_x + M_x^{\text{осл}}) y_c}{C_x \cdot J_x \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c} =$$

$$= \left( \frac{400 + 118,54}{46,5 \cdot 31,36 \cdot 0,9} \right)^{1,5} + \frac{(10200 + 1742) 15}{1,12 \cdot 7080 \cdot 31,36 \cdot 0,9} = 0,248 + 0,8 =$$

$$= 1,04 > 1.$$

Условие не выполняется, следовательно, требуется проведение мероприятий по ограничению нагрузки либо по усилению конструкции.

## Занятие № 2

### ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ИСКРИВЛЕННОЙ СТОЙКИ

При равномерном коррозионном износе элементов расчетную площадь поперечного сечения определяют по формуле:

$$A_{ef} = (1 - k_{SA} \cdot \Delta^*) A_o, \quad (2.1)$$

где  $A_o$  – площадь поперечного сечения элемента без учета коррозионных повреждений;  $k_{SA}$  – коэффициент слитности сечения, равный отношению периметра контура сечения, контактирующего со средой, к площади поперечного сечения. Приблизительно величину коэффициента  $k_{SA}$  можно принимать: для уголков  $2/t$ , для замкнутых профилей  $1/t$ , для швеллеров и двутавров  $4/(t+d)$ . Здесь  $t$  и  $d$  – толщины полки и стенки, соответственно.

Расчетный момент сопротивления для проверки прочности изгибаемых элементов определяется по формуле:

$$W_{ef} = (1 - k_{SW} \cdot \Delta^*) W_o, \quad (2.2)$$

где  $W_o$  – момент сопротивления сечения без учета коррозионных повреждений;  $k_{SW}$  – коэффициент изменения момента сопротивления вследствие коррозионного износа.

Коэффициенты  $k_{SW}$  для некоторых типоразмеров прокатных профилей приведены в табл. 2.1.

Величина проникновения коррозии  $\Delta^*$  принимается:

- при односторонней коррозии замкнутых форм профилей –  $\Delta^* = \Delta$ ;
- при двухсторонней коррозии открытых профилей (двутавров, швеллеров, уголков и т.п.) –  $\Delta^* = \Delta/2$ , где  $\Delta$  – уменьшение толщины элемента, равное разнице между номинальной и фактической толщиной элемента.

Сжатые сплошностенчатые элементы стальных конструкций, имеющие общие искривления, следует рассчитывать, как внецентренно-сжатые по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_e A} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c. \quad (2.3)$$

Отличие работы искривленных стержней от внецентренно-сжатых (рис. 2.1) можно учитывать умножением стрелки перехода от максимальной стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету, принимая  $m_{ef} = k \cdot \eta \cdot m_f$ , где  $m_f = f_o \cdot A/W$ .

Таблица 2.1

**Коэффициент изменения момента сопротивления при коррозии**

Швеллеры			Двутавры		
Номер профиля	$k_{swx}$	$k_{swy}$	Номер профиля	$k_{swx}$	$k_{swy}$
12	0,29	0,27	20	0,26	0,24
14	0,28	0,26	22	0,25	0,23
16	0,27	0,25	24	0,24	0,21
18	0,26	0,25	27	0,23	0,2
20	0,25	0,24	27a	0,22	0,2
22	0,24	0,23	30	0,22	0,2
24	0,23	0,22	36	0,18	0,16
27	0,22	0,2	40	0,17	0,15
30	0,21	0,19	50	0,15	0,13
36	0,18	0,17	60	0,13	0,11

Коэффициент  $k$  вычисляется по формуле:

$$k = 0,82 + 0,1 \frac{\sqrt{\eta \cdot m_f}}{\bar{\lambda}}, \quad (2.4)$$

где  $\bar{\lambda}$  – условная гибкость стержня в плоскости искривления;  $\eta$  – коэффициент влияния формы поперечного сечения, принимаемый по табл. Д.2 СП 16.13330.2017.

Стрелка искривления стержня в ненагруженном состоянии определяется по формуле:

$$f_o = \varphi_o \cdot f_{иск}, \quad (2.5)$$

где  $f_{иск}$  – стрелка искривления стержня, замеренная в нагруженном состоянии конструкции силой  $N_o$  (рис. 2.1а);  $\varphi_o$  – коэффициент, позволяющий определить искривление стойки в ненагруженном состоянии (рис. 2.1б), который вычисляется по формуле:

$$\varphi_o = 1 - 0,1\bar{\lambda}^2 \cdot \sigma' / R_{yo}, \quad (2.6)$$

где  $\sigma' = N_o / A_{ef} \leq \pi^2 E / \lambda^2$  – напряжения в стержне в момент замера стрелки  $f_{иск}$ ;  $R_{yo}$  – расчетное сопротивление стали;  $A_{ef}$  – площадь сечения с учетом ослабления или коррозионного износа.

Если усиление в стержне  $N_o$  в момент замера стрелки определить невозможно, следует принимать  $\varphi_o = 1$ .

Переход к эквивалентному эксцентриситету (2.1б, в) осуществляется по формуле:

$$e_{эkv} = k \cdot f_o. \quad (2.7)$$

Величина приведенного относительного эксцентриситета определяется следующим образом:

$$m_{ef} = \eta \frac{e_{эkv} \cdot A}{W_c}, \quad (2.8)$$

где  $W_c$  – момент сопротивления сечения для наиболее сложного волокна.

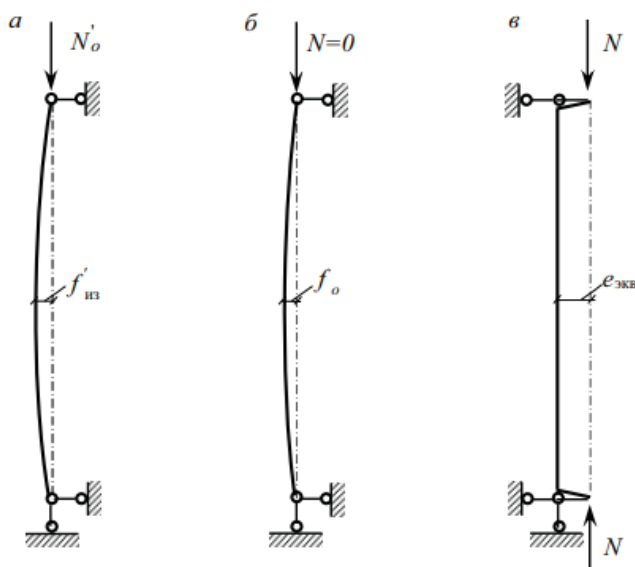


Рис. 2.1. Сжатый стержень с общим искривлением: а – нагруженный; б – ненагруженный; в – эквивалентный внецентренно-сжатый стержень

### Пример 1

Проверить устойчивость стальной сжатой колонны из двутавра № 36 по ГОСТ 8239-72\*:  $A=61,9 \text{ см}^2$ ;  $W_x = 743 \text{ см}^3$ ;  $i_x = 14,7 \text{ см}$  с расчетной длиной  $L_{рас} =$



560 см. Расчетная нагрузка  $N=580$  кН. Нагрузка от собственного веса поддерживающих конструкций, при которых выполнялись обмеры,  $N_o = 410$  кН. Материал конструкций имеет расчетное сопротивление  $R_{yo} = 200$  Мпа.

При обследовании обнаружено общее искривление стойки со стрелкой  $f_{иск} = 4,9$  см и коррозионный износ, равномерный по всему поперечному сечению, с глубиной проникновения коррозии  $\Delta^* = 1,73$  мм.

*Решение*

Находим расчетные геометрические характеристики сечения стойки в равномерном коррозионном износе по формулам (2.1) и (2.2):

$$A_{ef} = \left(1 - \Delta^* \frac{4}{t \div d}\right) A = \left(1 - 1,73 \frac{4}{7,5 \div 12,3}\right) 61,9 = 40,266 \text{ см}^2;$$

$$W_{ef} = (1 - k_{SW} \cdot \Delta^*) W_x = 743,0 (1 - 0,18 \cdot 1,73) = 511,63 \text{ см}^3.$$

Здесь коэффициент  $k_{SW}$  принят по табл. 2.1.

Определяем приведенное значение радиуса инерции:

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{W_{ef} \cdot \frac{h}{2}}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{511,63 \cdot 18}{40,266}} = 15,123 \text{ см.}$$

Вычисляем условную гибкость стойки:

$$\bar{\lambda} = \frac{H}{i_{ef}} \sqrt{\frac{R_{yo}}{E}} = \frac{560}{15,183} \sqrt{\frac{20}{2,05 \cdot 10^4}} = 1,1566.$$

Определяем напряжения в момент замера искривления:

$$\sigma = \frac{N_o}{A_{ef}} = \frac{410}{40,266} = 10,182 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

По формуле (2.6) находим значение коэффициента  $\varphi_o$ , который позволяет определить величину стрелки искривления стойки при ненагруженном состоянии:

$$\varphi_o = 1 - 0,1 \frac{\bar{\lambda}^2 \cdot \sigma}{R_{yo}} = 1 - 0,1 \frac{1,1566^2 \cdot 10,182}{20} = 0,93.$$

Следовательно, стрелка искривления в исходном состоянии, согласно формуле (2.5), составит:

$$f_o = \varphi_o \cdot f_{иск} = 0,93 \cdot 4,9 = 4,56 \text{ см.}$$

Находим относительный эксцентриситет в стойке за счет ее начального искривления:

$$m_{ef} = \frac{f_o \cdot A_{ef}}{W_{ef}} = \frac{4,56 \cdot 40,266}{511,63} = 0,359.$$

Находим коэффициент влияния формулы сечения  $\eta$  по табл. Д.2 СП 16.13330.2017. Для двутаврового сечения стойки коэффициент  $\eta$  определится:

$$\begin{aligned}\eta &= (1,75 - 0,1 m_{ef}) - 0,02 (5 - m_f) \bar{\lambda} = \\ &= (1,75 - 0,1 \cdot 0,359) - 0,02 \cdot (5 - 0,359) 1,1566 = 1,606.\end{aligned}$$

Вычисляем коэффициент перехода от стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету по формуле (2.4):

$$k = 0,82 + 0,1 \frac{\sqrt{\eta \cdot m_f}}{\bar{\lambda}} = 0,82 + 0,1 \sqrt{\frac{1,606 \cdot 0,359}{1,1566}} = 0,8856,$$

тогда величина эквивалентного эксцентриситета равно:

$$c_{\text{ЭКВ}} = k \cdot f_o = 0,8856 \cdot 4,56 = 4,04 \text{ см.}$$

Находим величину приведенного относительного эксцентриситета:

$$m_{ef} = \eta \frac{A_{ef} \cdot c_{\text{ЭКВ}}}{W_{ef}} = 1,606 \frac{40,266 \cdot 4,04}{511,63} = 0,511.$$

По табл. Д.3 СП 16.13330.2017 находим коэффициент продольного изгиба, который для  $\lambda = 1,1566$  и  $m_{ef} = 0,511$  составит:  $\varphi = 0,765$ .

Проверку внецентренно-сжатой стойки производим по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A_{ef}} = \frac{580}{0,765 \cdot 40,266} = 18,83 \leq R_{yo} \cdot \gamma_c = 20 \cdot 0,9 = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Условие не выполняется, требуется усиление конструкции.

### Занятие № 3

#### ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ РАСКОСА ФЕРМЫ С ПОГИБЬЮ

Расчет на устойчивость сжатых стержней из двух спаренных уголков, расположенных в тавр и имеющих искривление в двух плоскостях, следует выполнять по формуле:

$$N / \varphi_{uv} A_0 \leq R_{yo}, \quad (3.1)$$

где  $\varphi_{uv}$  – коэффициент снижения несущей способности, определяемый по табл. 3.1–3.3 в зависимости от условной гибкости в плоскости симметрии сечения

$$\bar{\lambda}_x = l_0 / i_x \sqrt{R_{yo} / E}$$

и условных относительных стрелок искривлений в двух плоскостях

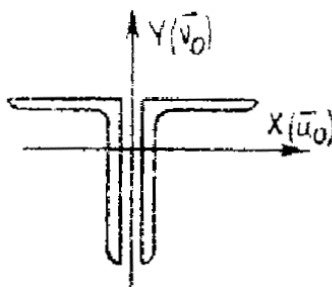
$$\bar{u}_0 = \frac{f_{x0}}{l_0} \sqrt{E / R_{yo}} \quad \bar{v}_0 = \frac{f_{y0}}{l_0} \sqrt{E / R_{yo}}$$

при этом для элементов решетки ферм (кроме опорных раскосов и опорных стоек) следует учитывать упругое защемление в поясах, принимая в плоскости фермы коэффициент приведения расчетной длины  $\mu = 0,8$  и используя данные табл. 3.1.

Не допускается принимать значения коэффициентов  $\varphi_{uv}$  больше значений коэффициентов  $\varphi$  для центрально-сжатых стержней.

Таблица 3.1

**Коэффициент  $\varphi_{uv}$  для стержней из равнополочных уголков  
упруго защемленных в плоскости симметрии и шарнирно закрепленных  
из этой плоскости  
( $\mu_x = 0,8; \mu_y = 1$ )**



$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	$\varphi_{uv}$ при $\bar{u}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
0,5	0,05	830	854	880	910	938	945	907	944	789	740	598
	0,1	818	841	868	894	923	936	908	944	789	741	598
	0,2	791	819	839	865	890	903	914	945	790	742	699
	0,3	767	789	815	839	881	871	911	850	792	743	700
	0,4	748	768	787	811	829	845	877	856	796	745	701
	0,5	723	744	760	782	806	812	844	872	801	749	704
1	0,05	674	713	756	804	854	871	809	707	629	566	515
	0,1	657	693	732	777	826	852	811	708	630	566	515
	0,2	623	656	691	727	768	789	825	712	631	568	516
	0,3	593	620	652	684	718	735	793	721	636	571	518
	0,4	565	592	618	645	674	689	737	745	645	575	521
	0,5	543	564	587	611	635	648	688	717	654	581	525
1,5	0,05	546	590	640	699	772	799	715	591	506	444	396
	0,1	528	567	612	664	725	759	717	593	507	445	396
	0,2	493	525	562	602	647	672	755	598	510	446	397
	0,3	462	491	520	552	587	606	654	610	515	449	400
	0,4	435	459	484	510	538	553	586	633	523	454	403
	0,5	411	431	452	474	494	506	534	568	542	460	406
2	0,05	443	478	541	604	638	704	623	494	413	357	315
	0,1	428	468	512	561	627	646	626	496	414	357	315
	0,2	395	427	461	498	541	562	647	502	417	359	316
	0,3	367	383	420	448	480	497	552	515	422	362	318
	0,4	343	364	386	408	423	445	475	511	431	366	321
	0,5	321	399	357	375	392	402	420	440	460	373	325

$\bar{\lambda}_x$	$\bar{u}_0$	$\varphi_{uv}$ при $\bar{v}_0$ равном										
		-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	-0,3	-0,4	-0,5
2,5	0,05	360	406	457	517	596	643	526	413	343	293	256
	0,1	349	387	430	478	537	571	542	416	343	293	257
	0,2	322	351	382	415	445	473	548	422	345	295	258
	0,3	298	321	344	367	394	403	456	436	350	398	260
	0,4	277	295	314	300	352	362	386	413	358	301	262
	0,5	259	274	289	303	318	325	341	358	366	306	265
3	0,05	294	337	386	433	514	560	459	450	287	245	215
	0,1	286	322	361	406	450	489	465	351	287	245	215
	0,2	266	293	320	349	381	392	457	357	290	246	215
	0,3	247	266	287	507	324	342	374	370	294	249	217
	0,4	229	245	260	277	287	301	325	338	300	252	219
	0,5	213	226	239	251	262	269	284	293	295	255	220
3,5	0,05	240	278	325	377	433	482	393	298	244	208	182
	0,1	236	269	306	347	392	419	396	299	244	208	182
	0,2	223	247	271	297	324	338	392	303	246	209	183
	0,3	207	225	243	261	275	289	320	312	250	211	184
	0,4	193	206	220	234	247	254	272	281	253	213	185
	0,5	180	191	201	208	221	226	238	243	243	215	186
4	0,05	200	231	272	322	379	412	336	255	209	179	157
	0,1	197	226	260	291	330	359	339	251	205	179	157
	0,2	188	210	233	250	273	319	335	260	212	180	157
	0,3	177	193	208	224	235	248	273	266	214	181	158
	0,4	165	177	185	199	212	213	232	237	216	183	159
	0,5	154	163	172	181	190	193	202	206	204	183	160
4,5	0,05	168	194	229	268	324	343	287	216	182	156	136
	0,1	166	191	222	256	290	210	290	221	182	156	136
	0,2	161	180	201	221	240	251	286	224	183	156	137
	0,3	152	167	181	194	203	214	230	227	185	157	138
	0,4	143	153	164	174	183	188	200	202	185	158	138
	0,5	133	142	150	157	164	167	174	177	174	157	138
5	0,05	143	164	193	233	275	298	248	192	159	137	120
	0,1	142	163	190	221	252	268	250	193	159	137	120
	0,2	139	156	175	193	209	218	247	195	160	137	120
	0,3	132	145	158	169	181	184	203	196	161	138	121
	0,4	125	134	143	152	157	164	171	175	160	138	121
	0,5	117	124	131	137	144	146	150	154	150	137	121
5,5	0,05	124	142	166	198	242	255	215	168	140	121	107
	0,1	123	141	164	192	220	230	217	169	140	121	107
	0,2	121	136	153	170	184	192	214	171	138	121	107
	0,3	116	128	139	150	160	165	178	170	142	122	107
	0,4	110	119	127	134	139	144	152	153	140	122	107
	0,5	104	110	116	121	125	129	134	135	131	120	107
6	0,05	108	123	114	117	209	220	188	149	125	108	095
	0,1	108	123	142	167	192	205	189	249	125	108	095
	0,2	107	120	135	150	163	169	187	150	125	108	095
	0,3	103	113	124	133	142	146	156	149	126	108	096
	0,4	098	106	113	120	123	129	135	135	123	108	096
	0,5	092	098	104	109	113	115	119	120	116	106	095

Примечание. Значения коэффициента  $\varphi_{uv}$  в таблице увеличены в 1000 раз.

Таблица 3.2

Эквивалентный переход от сечения с местной погибью  
(параметры погиби  $f_{ом}, l_{м}$ ) к сечению с краевым вырезом  
(параметры  $b_{осл}, l_{осл}$ )



Длина местного ослабления погибью $\bar{l}_м = l_м / b$	Параметры выреза $\bar{l}_{осл} = l_{осл} / b$ $\bar{b}_{осл} = b_{осл} / b$	Стрелка местной погиби $\bar{f}_{ом}$ ( $\bar{f}_{ом} = f_{ом} / b$ )								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,5	$\bar{l}_{осл}$	0,37	0,32	0,3	0,26	–	–	–	–	–
	$\bar{b}_{осл}$	0,2	0,4	0,5	0,6	–	–	–	–	–
0,1	$\bar{l}_{осл}$	0,71	0,63	0,6	0,72	0,59	0,52	0,54	0,5	0,47
	$\bar{b}_{осл}$	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9
1,5	$\bar{l}_{осл}$	0,94	0,91	0,88	1,07	0,87	0,77	0,8	0,74	0,7
	$\bar{b}_{осл}$	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9
2	$\bar{l}_{осл}$	1,57	1,57	1,58	1,38	1,14	1,26	1,06	0,99	0,94
	$\bar{b}_{осл}$	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
2,5	$\bar{l}_{осл}$	0,0	1,55	1,77	1,61	1,35	1,52	1,31	1,35	1,25
	$\bar{b}_{осл}$	0,00	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
3	$\bar{l}_{осл}$	0,00	0,0	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7
	$\bar{b}_{осл}$	0,0	0,0	2,01	2,19	1,97	2,3	1,84	1,56	1,62

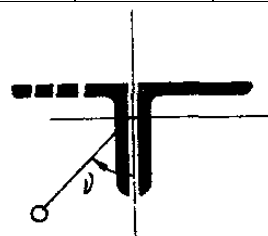
Таблица 3.3

Коэффициент  $k_{осл}$  учитывающий влияние краевого выреза на устойчивость шарнирно закрепленного стержня из спаренных уголков  
( $\mu_x = \mu_y = 1$ )

Параметры выреза:  $b_{осл} = 0,36b$ ;  
 $l_{осл} = 0,5b$

$$f_0 = \sqrt{u_o^2 + v_o^2}$$

$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{осл}$ при $\nu$ , равном						
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$



$$b_{осл} = 0,36b; l_{осл} = 0,5b$$

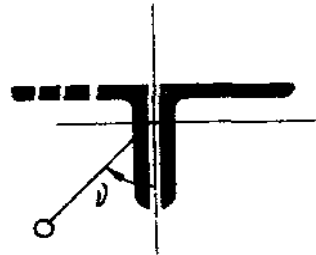
1	0,1	0,78	0,84	0,89	0,93	0,93	0,81	0,77	0,73
	0,3	0,78	0,99	1	1	1	0,98	0,76	0,76
	0,5	0,77	1	1	1	1	1	0,74	0,76
3	0,1	0,88	1	1	0,95	0,9	1	0,81	0,84
	0,3	0,87	1	0,96	1	1	1	0,89	0,85
	0,5	0,85	1	0,94	1	1	1	0,82	0,83

$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
5	0,1	0,97	1	0,92	0,95	0,96	0,93	0,9	0,93
	0,3	0,97	1	0,86	1	1	1	0,86	0,92
	0,5	0,98	1	0,93	1	1	1	0,92	0,91



$$b_{ocл} = 0,3b; l_{ocл} = 0,5b$$

1	0,1	0,92	0,85	0,79	0,75	0,74	0,75	0,79	0,83
	0,3	0,99	1	0,89	0,74	0,74	0,74	0,89	1
	0,5	0,99	1	0,93	0,73	0,73	0,73	0,93	1
3	0,1	1	1	0,97	0,79	0,84	0,79	0,96	1
	0,3	0,95	1	1	0,8	0,84	0,8	1	1
	0,5	0,91	1	1	0,84	0,82	0,84	1	1
5	0,1	0,98	0,97	0,9	0,85	0,85	0,85	0,9	0,97
	0,3	1	0,98	0,92	0,9	0,91	0,9	0,95	1
	0,5	0,96	0,99	1	0,91	0,89	0,91	1	0,99



$$b_{ocл} = 0,6b; l_{ocл} = 0,5b$$

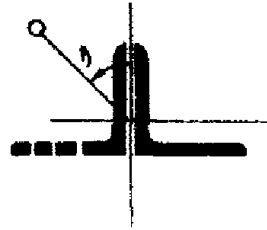
1	0,1	0,58	0,63	0,66	0,71	0,7	0,64	0,58	0,57
	0,3	0,58	0,73	0,84	1	1	0,74	0,58	0,57
	0,5	0,6	0,84	0,97	1	1	0,81	0,57	0,57
3	0,1	0,69	0,84	1	1	1	0,93	0,68	0,69
	0,3	0,7	1	0,91	1	1	1	0,66	0,66
	0,5	0,71	1	0,8	1	1	1	0,65	0,65
5	0,1	0,86	0,93	0,92	0,93	0,91	0,91	0,87	0,82
	0,3	0,86	1	0,75	0,98	1	0,9	0,66	0,77
	0,5	0,82	1	0,78	0,96	1	1	0,7	0,75



$$b_{ocл} = 0,6b; l_{ocл} = 0,5b$$

1	0,1	0,71	0,69	0,61	0,57	0,57	0,57	0,61	0,69
	0,3	0,99	1	0,69	0,56	0,56	0,56	0,69	1
	0,5	0,97	1	0,78	0,57	0,56	0,57	0,78	1
3	0,1	1	1	0,79	0,64	0,68	0,64	0,79	1
	0,3	0,93	1	1	0,68	0,67	0,68	1	1
	0,5	0,82	0,98	1	0,66	0,64	0,66	1	1

$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
5	0,1	0,97	0,95	0,87	0,76	0,75	0,76	0,87	0,95
	0,3	0,89	0,94	0,88	0,78	0,74	0,78	0,87	0,94
	0,5	0,82	0,91	1	0,75	0,71	0,75	1	0,91



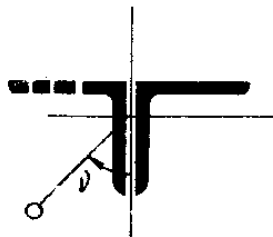
$$b_{ocл} = 0,6b; l_{ocл} = 0,5b$$

1	0,1	0,44	0,47	0,49	0,53	0,53	0,48	0,44	0,43
	0,3	0,44	0,55	0,65	0,75	0,75	0,56	0,44	0,43
	0,5	0,44	0,63	0,81	1	1	0,62	0,44	0,43
3	0,1	0,54	0,67	0,82	0,96	0,91	0,7	0,52	0,53
	0,3	0,55	0,78	0,84	0,9	1	0,95	0,52	0,52
	0,5	0,56	0,98	0,72	0,87	0,99	0,94	0,5	0,51
5	0,1	0,74	0,86	0,9	0,9	0,85	0,96	0,66	0,68
	0,3	0,71	0,95	0,66	0,87	0,95	0,97	0,51	0,62
	0,5	0,72	1	0,67	0,8	0,93	1	0,56	0,6



$$b_{ocл} = 0,9b; l_{ocл} = 0,5b$$

1	0,1	0,63	0,6	0,54	0,51	0,5	0,51	0,54	0,6
	0,3	0,87	0,93	0,62	0,51	0,51	0,5	0,62	0,88
	0,5	0,89	0,94	0,7	0,5	0,51	0,5	0,68	0,9
3	0,1	0,96	1	0,75	0,58	0,63	0,58	0,75	1
	0,3	0,89	1	0,93	0,62	0,62	0,62	0,9	1
	0,5	0,81	0,96	1	0,61	0,6	0,61	1	0,89
5	0,1	0,96	0,95	0,87	0,73	0,71	0,73	0,86	0,95
	0,3	0,87	0,92	0,84	0,73	0,71	0,73	0,86	0,94
	0,5	0,8	0,88	1	0,7	0,67	0,7	1	0,89



$$f_0 = \sqrt{u_o^2 + \nu_o^2} \quad \text{Параметры выреза: } b_{ocл} = 0,3b;$$

$$l_{ocл} = 1b$$

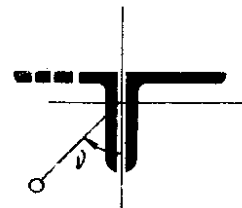
2	0,05	0,81	0,88	0,91	0,98	1	0,89	0,8	0,81
	0,1	0,82	0,93	1	1	1	0,93	0,79	0,78
	0,2	0,82	1	1	0,99	1	1	0,79	0,79
	0,3	0,82	1	0,95	1	1	1	0,78	0,78
	0,5	0,82	1	0,88	1	1	1	0,77	0,77
3	0,05	0,88	0,91	1	0,91	0,98	0,94	0,81	0,83
	0,1	0,87	1	1	0,93	0,96	0,92	0,8	0,82
	0,2	0,88	1	1	0,98	1	1	0,8	0,8
	0,3	0,86	1	0,99	1	1	1	0,79	0,84
	0,5	0,84	1	0,9	1	1	1	0,78	0,82

$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{осл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
4	0,05	0,92	0,92	0,95	0,93	0,93	0,95	0,85	0,87
	0,1	0,92	0,98	0,97	0,91	0,97	0,88	0,81	0,87
	0,2	0,92	1	0,89	0,96	0,98	0,86	0,77	0,83
	0,3	0,88	1	1	1	1	0,97	0,8	0,82
	0,5	0,88	1	0,93	1	1	1	0,83	0,89
5	0,05	0,94	0,95	0,96	0,9	0,9	0,91	0,94	0,92
	0,1	0,94	0,97	0,92	0,88	0,92	0,92	0,88	0,9
	0,2	0,91	1	0,83	0,95	1	0,93	0,79	0,88
	0,3	0,91	1	0,83	1	1	0,98	0,73	0,86
	0,5	0,87	1	0,93	1	0,98	1	0,81	0,89



$$f_0 = \sqrt{u_o^{-2} + v_o^{-2}} \quad b_{осл} = 0,6b; \\ l_{осл} = 1b$$

2	0,05	0,6	0,65	0,7	0,77	0,77	0,68	0,6	0,59
	0,1	0,6	0,72	0,8	0,91	0,9	0,75	0,61	0,6
	0,2	0,61	0,83	1	1	1	0,87	0,61	0,6
	0,3	0,62	0,87	0,92	1	1	0,89	0,61	0,59
	0,5	0,62	1	0,82	0,99	1	0,97	0,59	0,59
3	0,05	0,66	0,74	0,82	0,97	0,92	0,75	0,63	0,65
	0,1	0,67	0,84	0,99	0,89	1	0,91	0,65	0,65
	0,2	0,68	0,96	0,95	0,94	1	0,94	0,66	0,66
	0,3	0,68	1	0,88	1	1	1	0,66	0,65
	0,5	0,69	1	0,78	0,96	1	1	0,63	0,63
4	0,05	0,75	0,83	0,89	0,89	0,9	0,93	0,85	0,72
	0,1	0,75	0,89	0,93	0,93	0,94	0,92	0,69	0,72
	0,2	0,75	0,99	0,85	0,92	0,91	0,9	0,66	0,71
	0,3	0,76	1	0,79	0,98	1	0,98	0,69	0,69
	0,5	0,77	1	0,76	0,93	0,99	1	0,66	0,68
5	0,05	0,83	0,88	0,94	0,9	0,88	0,91	0,85	0,81
	0,1	0,83	0,92	0,91	0,84	0,85	0,92	0,77	0,78
	0,2	0,82	0,95	0,77	0,93	0,96	0,83	0,66	0,75
	0,3	0,83	0,95	0,72	0,93	0,94	1	0,62	0,74
	0,5	0,81	1	0,75	0,88	0,92	1	0,68	0,73

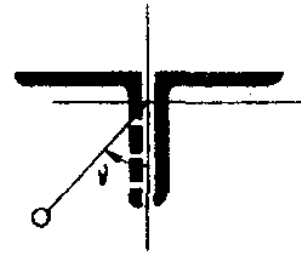


$$b_{осл} = 0,9b; \\ l_{осл} = 1b$$

2	0,05	0,45	0,48	0,52	0,55	0,56	0,5	0,45	0,44
	0,1	0,46	0,53	0,6	0,70	0,7	0,55	0,46	0,44
	0,2	0,46	0,62	0,77	1	0,92	0,64	0,46	0,45
	0,3	0,47	0,69	0,78	1	1	0,7	0,46	0,45
	0,5	0,48	0,77	0,79	0,85	0,99	0,74	0,46	0,46
3	0,05	0,49	0,58	0,59	0,65	0,73	0,55	0,47	0,49
	0,1	0,51	0,63	0,77	0,95	0,92	0,65	0,49	0,5
	0,2	0,52	0,77	0,89	0,9	0,96	0,84	0,5	0,5
	0,3	0,52	0,77	0,83	0,93	0,98	0,82	0,5	0,5
	0,5	0,54	0,93	0,69	0,8	0,92	0,92	0,49	0,49



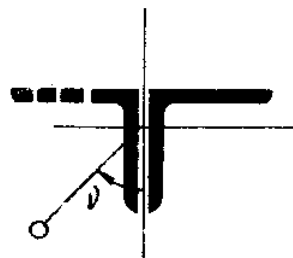
$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
4	0,05	0,59	0,65	0,69	0,89	0,86	0,74	0,51	0,56
	0,1	0,6	0,73	0,83	0,82	0,84	0,9	0,52	0,57
	0,2	0,59	0,85	0,76	0,85	0,83	0,91	0,51	0,56
	0,3	0,61	0,88	0,76	0,82	0,9	1	0,53	0,54
	0,5	0,62	0,98	0,66	0,78	0,84	1	0,52	0,54
5	0,05	0,71	0,77	0,9	0,91	0,89	0,93	0,67	0,67
	0,1	0,69	0,8	0,87	0,84	0,84	0,93	0,6	0,64
	0,2	0,68	0,87	0,71	0,84	0,87	0,96	0,51	0,61
	0,3	0,69	0,89	0,63	0,84	0,85	1	0,49	0,59
	0,5	0,68	0,95	0,65	0,78	0,83	1	0,54	0,58



$$b_{ocл} = 0,3b;$$

$$l_{ocл} = 1b$$

2	0,05	0,97	0,94	0,81	0,77	0,79	0,77	0,81	0,94
	0,1	0,99	1	0,86	0,78	0,79	0,78	0,86	1
	0,2	0,97	1	0,95	0,78	0,76	0,78	0,95	1
	0,3	0,96	1	1	0,75	0,78	0,75	1	1
	0,5	0,91	1	0,98	0,74	0,75	0,74	1	1
3	0,05	0,98	1	0,86	0,75	0,83	0,75	0,87	0,98
	0,1	0,95	0,97	0,93	0,77	0,82	0,77	0,91	1
	0,2	0,95	1	1	0,82	0,78	0,82	0,93	0,98
	0,3	0,92	0,94	0,97	0,79	0,78	0,8	1	1
	0,5	0,95	0,93	0,91	0,81	0,81	0,81	0,9	0,94
4	0,05	0,95	0,93	0,91	0,81	0,81	0,81	0,9	0,94
	0,1	0,95	0,93	0,92	0,8	0,81	0,81	0,9	0,97
	0,2	0,94	1	0,92	0,78	0,8	0,78	0,89	0,92
	0,3	0,92	0,99	1	0,82	0,84	0,82	1	1
	0,5	0,89	0,98	1	0,84	0,83	0,84	1	0,99
5	0,05	0,95	0,95	0,94	0,87	0,85	0,87	0,94	0,95
	0,1	0,94	0,92	0,87	0,82	0,82	0,82	0,88	0,92
	0,2	0,91	0,94	0,8	0,83	0,87	0,83	0,77	0,94
	0,3	0,87	0,94	0,82	0,84	0,84	0,84	0,8	0,95
	0,5	0,85	0,95	1	0,86	0,8	0,86	1	0,95

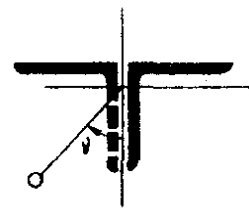


$$b_{ocл} = 0,6b;$$

$$l_{ocл} = 1b$$

2	0,05	0,77	0,73	0,63	0,59	0,6	0,59	0,63	0,73
	0,1	1	0,95	0,68	0,59	0,6	0,59	0,68	0,98
	0,2	0,97	1	0,77	0,6	0,6	0,6	0,77	1
	0,3	0,95	1	0,86	0,6	0,6	0,6	0,86	0,95
	0,5	0,91	1	0,88	0,59	0,59	0,59	0,88	1

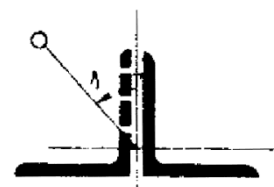
$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
3	0,05	0,97	1	0,69	0,58	0,65	0,58	0,69	1
	0,1	0,95	1	0,77	0,62	0,66	0,62	0,77	1
	0,2	0,95	1	0,88	0,66	0,64	0,66	0,86	1
	0,3	0,89	1	0,87	0,65	0,65	0,65	0,86	1
	0,5	0,8	0,96	1	0,64	0,64	0,64	1	0,99
4	0,05	0,95	0,92	0,75	0,68	0,68	0,68	0,75	0,92
	0,1	0,95	0,92	0,82	0,68	0,69	0,68	0,8	0,94
	0,2	0,92	0,97	0,8	0,66	0,67	0,66	0,82	0,97
	0,3	0,87	0,95	0,97	0,71	0,69	0,71	0,99	0,97
	0,5	0,75	0,89	1	0,7	0,67	0,7	1	0,93
5	0,05	0,94	0,94	0,89	0,77	0,76	0,77	0,89	0,94
	0,1	0,92	0,91	0,84	0,73	0,73	0,73	0,84	0,92
	0,2	0,86	0,89	0,78	0,73	0,76	0,73	0,78	0,9
	0,3	0,83	0,88	0,81	0,75	0,73	0,75	0,81	0,89
	0,5	0,77	0,86	1	0,72	0,7	0,72	1	0,86



$$b_{ocл} = 0,9b;$$

$$l_{ocл} = 1b$$

2	0,05	0,67	0,65	0,56	0,53	0,54	0,53	0,55	0,65
	0,1	0,93	0,81	0,61	0,54	0,54	0,54	0,61	0,82
	0,2	0,9	0,99	0,69	0,54	0,54	0,54	0,69	0,94
	0,3	0,89	0,97	0,79	0,54	0,54	0,54	0,8	0,94
	0,5	0,87	0,97	0,89	0,54	0,54	0,54	0,86	0,95
3	0,05	0,94	0,96	0,63	0,53	0,6	0,53	1,62	0,97
	0,1	0,91	0,95	0,74	0,56	0,61	0,56	0,73	0,94
	0,2	0,91	1	0,85	0,61	0,59	0,61	0,84	0,99
	0,3	0,88	0,96	0,89	0,6	0,6	0,6	0,83	0,98
	0,5	0,78	0,94	1	0,6	0,59	0,59	0,96	0,96
4	0,05	0,95	0,92	0,7	0,64	0,63	0,64	0,7	0,92
	0,1	0,95	0,97	0,77	0,63	0,63	0,63	0,77	0,94
	0,2	0,89	0,96	0,8	0,62	0,61	0,62	0,8	0,96
	0,3	0,83	0,94	0,94	0,67	0,65	0,67	0,92	0,96
	0,5	0,74	0,91	1	0,65	0,61	0,65	1	0,92
5	0,05	0,64	0,94	0,87	0,74	0,72	0,73	0,88	0,94
	0,1	0,9	0,91	0,83	0,7	0,68	0,7	0,83	0,92
	0,2	0,85	0,88	0,8	0,7	0,72	0,7	0,8	0,9
	0,3	0,82	0,88	0,8	0,72	0,69	0,72	0,8	0,89
	0,5	0,75	0,84	1	0,68	0,65	0,68	1	0,84

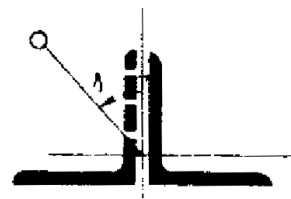


$$b_{ocл} = 0,3b;$$

$$l_{ocл} = 2,0b$$

2	0,05	0,79	0,84	0,91	0,99	1	0,9	0,78	0,76
	0,1	0,8	0,89	0,91	0,99	1	0,96	0,78	0,76
	0,2	0,79	0,92	0,96	0,99	1	1	0,78	0,76
	0,3	0,8	0,97	0,86	0,99	1	1	0,77	0,75
	0,5	0,8	0,98	0,85	0,98	0,99	0,98	0,77	0,76

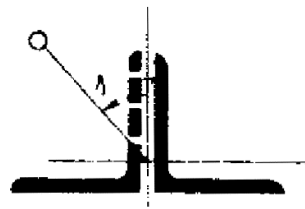
$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
3	0,05	0,82	0,88	1	0,89	0,98	0,93	0,79	0,79
	0,1	0,83	0,98	0,99	0,9	0,97	0,94	0,78	0,78
	0,2	0,83	1	0,96	0,88	0,99	0,98	0,78	0,79
	0,3	0,83	1	0,89	0,86	1	0,96	0,77	0,8
	0,5	0,82	0,98	0,86	0,86	1	0,95	0,76	0,8
4	0,05	0,86	0,89	0,92	0,92	0,85	0,94	0,8	0,82
	0,1	0,86	0,97	1	0,9	0,89	0,89	0,78	0,84
	0,2	0,86	1	0,88	0,92	0,92	0,83	0,74	0,81
	0,3	0,85	0,98	0,88	1	0,99	0,89	0,78	0,8
	0,5	0,83	0,99	0,88	0,98	0,99	1	0,72	0,81
5	0,05	0,9	0,91	0,92	0,87	0,87	0,87	0,9	0,87
	0,1	0,9	0,94	0,9	0,83	0,84	0,87	0,87	0,86
	0,2	0,87	0,9	0,75	0,89	0,98	0,85	0,71	0,84
	0,3	0,87	0,96	0,77	0,95	0,96	0,98	0,69	0,82
	0,5	0,86	0,99	0,87	0,94	0,97	1	0,77	0,82



$$b_{ocл} = 0,6b;$$

$$l_{ocл} = 2b$$

2	0,05	0,57	0,62	0,66	0,71	0,73	0,65	0,6	0,56
	0,1	0,58	0,68	0,8	0,91	0,89	0,71	0,57	0,57
	0,2	0,59	0,78	0,91	0,92	1	0,82	0,58	0,57
	0,3	0,59	0,85	0,88	0,98	0,98	0,88	0,58	0,57
	0,5	0,6	1	0,78	0,93	0,98	0,97	0,57	0,57
3	0,05	0,61	0,68	0,73	0,83	0,93	0,68	0,58	0,61
	0,1	0,62	0,77	0,97	0,94	1	0,83	0,5	0,62
	0,2	0,63	0,88	0,97	0,85	0,94	0,96	0,61	0,62
	0,3	0,64	0,97	0,79	0,83	0,98	1	0,61	0,62
	0,5	0,66	0,99	0,74	0,89	0,95	1	0,6	0,61
4	0,05	0,68	0,75	0,81	0,85	0,87	0,99	0,61	0,66
	0,1	0,7	0,84	0,92	0,84	0,88	0,84	0,62	0,67
	0,2	0,7	0,91	0,78	0,84	0,84	0,88	0,61	0,67
	0,3	0,72	0,98	0,78	0,92	0,9	1	0,64	0,66
	0,5	0,74	1	0,71	0,87	0,9	1	0,62	0,65
5	0,05	0,77	0,81	0,8	0,95	0,86	0,89	0,75	0,74
	0,1	0,76	0,86	0,89	0,82	0,83	0,88	0,72	0,72
	0,2	0,76	0,88	0,73	0,84	0,92	0,88	0,61	0,7
	0,3	0,79	0,95	0,7	0,87	0,92	0,9	0,68	0,71
	0,5	0,78	1	0,73	0,82	0,92	1	0,65	0,69

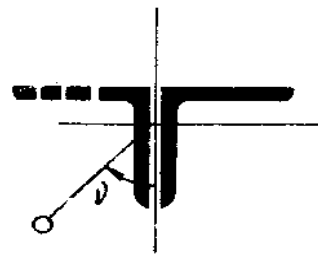


$$b_{ocл} = 0,9b;$$

$$l_{ocл} = 2b$$

2	0,05	0,42	0,45	0,48	0,52	0,52	0,47	0,42	0,41
	0,1	0,43	0,5	0,55	0,64	0,64	0,51	0,42	0,42
	0,2	0,44	0,58	0,74	1	0,91	0,59	0,43	0,43
	0,3	0,44	0,64	0,93	0,94	1	0,65	0,43	0,43
	0,5	0,45	0,74	0,73	0,83	0,94	0,73	0,43	0,43

$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
3	0,05	0,45	0,5	0,52	0,56	0,65	0,48	0,43	0,44
	0,1	0,46	0,57	0,69	0,97	0,9	0,58	0,44	0,46
	0,2	0,48	0,69	0,82	0,84	0,93	0,75	0,46	0,47
	0,3	0,49	0,77	0,73	0,86	0,9	0,82	0,46	0,47
	0,5	0,51	0,86	0,65	0,75	0,88	0,84	0,46	0,46
4	0,05	0,53	0,58	0,59	0,9	0,87	0,63	0,45	0,51
	0,1	0,53	0,64	0,83	0,81	0,87	0,75	0,47	0,51
	0,2	0,55	0,75	0,74	0,75	0,79	0,85	0,46	0,51
	0,3	0,57	0,8	0,72	0,8	0,86	0,95	0,48	0,5
	0,5	0,57	0,89	0,63	0,74	0,83	0,93	0,48	0,5
5	0,05	0,62	0,67	0,76	0,87	0,88	0,84	0,58	0,59
	0,1	0,62	0,71	0,82	0,8	0,82	0,86	0,53	0,58
	0,2	0,62	0,79	0,66	0,8	0,85	0,96	0,46	0,55
	0,3	0,63	0,84	0,6	0,79	0,84	0,95	0,44	0,55
	0,5	0,65	0,89	0,61	0,75	0,81	0,9	0,49	0,55

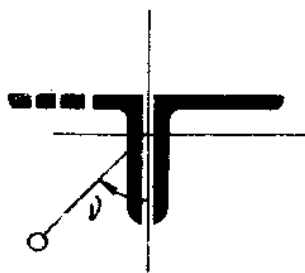


$$b_{ocл} = 0,3b;$$

$$l_{ocл} = 2b$$

2	0,05	0,97	0,89	0,82	0,77	0,76	0,77	0,82	0,88
	0,1	0,98	1	0,84	0,75	0,77	0,75	0,85	1
	0,2	0,97	0,99	0,9	0,74	0,73	0,74	0,89	1
	0,3	0,91	0,97	0,96	0,73	0,74	0,73	0,95	0,99
	0,5	0,91	0,98	0,93	0,73	0,74	0,73	0,91	0,98
3	0,05	0,95	0,97	0,85	0,7	0,78	0,7	0,85	0,98
	0,1	0,94	0,96	0,91	0,73	0,78	0,73	0,91	0,97
	0,2	0,9	0,98	0,96	0,77	0,75	0,77	0,96	1
	0,3	0,88	0,96	0,99	0,76	0,76	0,76	0,97	0,98
	0,5	0,85	0,94	0,9	0,76	0,77	0,76	0,9	0,95
4	0,05	0,91	0,91	0,82	0,76	0,78	0,76	0,81	0,91
	0,1	0,9	0,92	0,91	0,76	0,77	0,76	0,91	0,92
	0,2	0,89	0,91	0,84	0,75	0,74	0,75	0,85	0,92
	0,3	0,87	0,9	0,93	0,8	0,79	0,8	0,63	0,89
	0,5	0,83	0,9	1	0,78	0,77	0,78	1	0,91
5	0,05	0,9	0,91	0,88	0,81	0,81	0,81	0,87	0,91
	0,1	0,9	0,88	0,83	0,78	0,78	0,78	0,84	0,89
	0,2	0,86	0,87	0,78	0,8	0,83	0,8	0,79	0,88
	0,3	0,84	0,87	0,8	0,81	0,81	0,81	0,8	0,88
	0,5	0,82	0,88	0,98	0,78	0,8	0,8	0,99	0,89

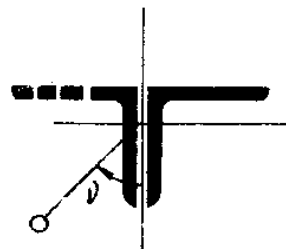
$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{ocл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$



$$b_{ocл} = 0,6b;$$

$$l_{ocл} = 2b$$

2	0,05	0,73	0,7	0,6	0,56	0,57	0,56	0,6	0,7
	0,1	0,97	0,9	0,65	0,57	0,57	0,57	0,65	0,92
	0,2	0,93	1	0,74	0,57	0,58	0,58	0,74	0,97
	0,3	0,9	0,97	0,87	0,57	0,59	0,57	0,86	0,95
	0,5	0,87	0,94	0,9	0,58	0,57	0,58	0,88	0,98
3	0,05	0,96	0,95	0,64	0,55	0,61	0,54	0,63	0,89
	0,1	0,93	0,96	0,74	0,57	0,63	0,57	0,74	0,87
	0,2	0,89	0,96	0,83	0,63	0,61	0,61	0,83	1
	0,3	0,85	0,95	0,89	0,63	0,62	0,63	0,89	0,97
	0,5	0,75	0,9	0,9	0,62	0,61	0,62	0,79	0,86
4	0,05	0,91	0,89	0,67	0,63	0,62	0,63	0,67	0,89
	0,1	0,89	0,9	0,76	0,63	0,63	0,63	0,75	0,92
	0,2	0,88	0,94	0,79	0,62	0,62	0,62	0,8	0,91
	0,3	0,78	0,85	0,85	0,68	0,68	0,68	0,82	0,87
	0,5	0,72	0,85	0,91	0,66	0,65	0,66	0,91	0,87
5	0,05	0,87	0,88	0,84	0,7	0,69	0,7	0,76	0,89
	0,1	0,86	0,88	0,8	0,68	0,67	0,68	0,8	0,88
	0,2	0,84	0,84	0,78	0,7	0,72	0,7	0,76	0,84
	0,3	0,78	0,82	0,78	0,72	0,71	0,72	0,74	0,82
	0,5	0,72	0,78	0,98	0,7	0,67	0,7	0,98	0,8



$$b_{ocл} = 0,9b;$$

$$l_{ocл} = 2b$$

2	0,05	0,65	0,62	0,54	0,51	0,51	0,51	0,54	0,62
	0,1	0,91	0,8	0,58	0,52	0,52	0,52	0,58	0,8
	0,2	0,91	0,94	0,67	0,52	0,53	0,52	0,67	0,9
	0,3	0,9	0,92	0,78	0,53	0,53	0,53	0,78	0,9
	0,5	0,86	0,91	0,77	0,53	0,53	0,52	0,8	0,92
3	0,05	0,93	0,97	0,58	0,51	0,57	0,5	0,58	0,92
	0,1	0,91	0,93	0,67	0,53	0,58	0,53	0,66	0,93
	0,2	0,88	0,94	0,85	0,59	0,56	0,59	0,85	0,94
	0,3	0,85	0,92	0,79	0,59	0,58	0,58	0,84	0,93
	0,5	0,74	0,89	0,74	0,58	0,57	0,57	0,81	0,91
4	0,05	0,91	0,89	0,63	0,59	0,59	0,59	0,63	0,89
	0,1	0,89	0,9	0,73	0,59	0,6	0,59	0,73	0,9
	0,2	0,88	0,93	0,77	0,59	0,59	0,59	0,77	0,9
	0,3	0,77	0,85	0,81	0,63	0,62	0,63	0,79	0,87
	0,5	0,7	0,83	0,92	0,62	0,6	0,62	0,96	0,87

$\bar{\lambda}_x$	$f_0$	$k_{осл}$ при $\nu$ , равном							
		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$	$5\pi/4$	$3\pi/2$	$7\pi/4$
5	0,05	0,87	0,88	0,78	0,69	0,67	0,69	0,69	0,89
	0,1	0,86	0,88	0,79	0,65	0,65	0,65	0,65	0,88
	0,2	0,84	0,84	0,75	0,66	0,67	0,66	0,66	0,84
	0,3	0,77	0,82	0,76	0,67	0,67	0,67	0,67	0,82
	0,5	0,7	0,78	0,98	0,66	0,62	0,66	0,97	0,8

Проверку устойчивости стержней из спаренных равнополочных уголков, имеющих кроме пространственного искривления оси еще и местные дефекты в виде вырезов или локальных погибей полки, для случая  $\mu_x = \mu_y = 1$  рекомендуется выполнять по формуле

$$\frac{N}{\varphi_{uv} k_{осл} A_0} \leq R_{yo} \gamma_c, \quad (2)$$

где  $\varphi_{uv}$  - коэффициент, определяемый по табл. 3.1;  $k_{осл}$  - коэффициент, учитывающий влияние местного выреза полки, принимаемый равным;  $k_{осл} = 1$  - если вырез расположен на концевом участке стержня (в пределах узловой фасонки); по табл. 3.3. - если вырез расположен в пределах средней трети длины стержня; по интерполяции - в прочих случаях;  $A_0$  - площадь неослабленного сечения. Для стержней, не имеющих местных дефектов и повреждений, следует считать  $k_{осл} = 1$ .

Учет влияния местного дефекта в виде локального искривления полки осуществляется путем перехода к эквивалентному вырезу с параметрами  $l_{осл}$  и  $b_{осл}$ , определяемыми по погиби  $l_m$  и  $f_{ом}$  (по табл. 3.2).

### Пример 1

Раскос фермы (неопорный) длиной 226 см изготовлен из спаренных уголков  $75 \times 75 \times 6$ . При обследовании фермы обнаружены искривления  $f_{уз,x} = 2,5$  см и  $f_{уз,y} = -1,5$  см, которые ввиду малости напряжения и при замере стрелок принимаем равными  $f_{x0}$  и  $f_{y0}$ .

Кроме того, обследованиями обнаружена локальная погибь полки с параметрами (рис. 3.1)  $l_m = 20$  см,  $l_{ом} = 2,8$  см, расположенная примерно посередине длины. Расчетная нагрузка  $N = 95$  кН, расчетное сопротивление  $R_{y0} = 210$  МПа.

Безразмерные относительные стрелки искривления

$$\bar{u}_0 = \frac{2,5}{226 \cdot 0,8} \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{210}} = 0,44; \quad \bar{v}_0 = \frac{-1,5}{226} \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{210}} = -0,21$$

### Условная гибкость в плоскости симметрии

$$\bar{\lambda}_x = \frac{226 \cdot 0,8}{2,3} \sqrt{210/2,1 \cdot 10^5} = 2,48.$$

Для найденных значений  $\bar{u}_0$ ,  $\bar{v}_0$  и  $\bar{\lambda}_x$  по табл. 3.1 ( $\mu_x = 0,8$ ;  $\mu_y = 1$ ) определяем  $\varphi_{uv} = 0,351$ .

Используя данные о безразмерной величине местной погиби  $\bar{f}_{ом} = 2,8/7,5 = 0,37$ ;  $\bar{l}_м = 20/7,5 = 2,66$  по табл. 3.2 определяем эквивалентные размеры краевого выреза  $l_{осл} = 1,72 \cdot 7,5 = 12,9$  см;  $b_{осл} = 0,51 \cdot 7,5 = 3,8$  см.

Определяем угол  $\nu$  направления суммарной погиби  $\text{tg } \nu = 2,5/1,5 = 1,67$ ;  $\nu = 58^\circ = 0,32\pi$ , и ее величину  $\bar{f}_0 = \sqrt{0,44^2 + 0,21^2} = 0,49$ . По табл. 3.3 определяем  $k_{осл} = 0,77$ .

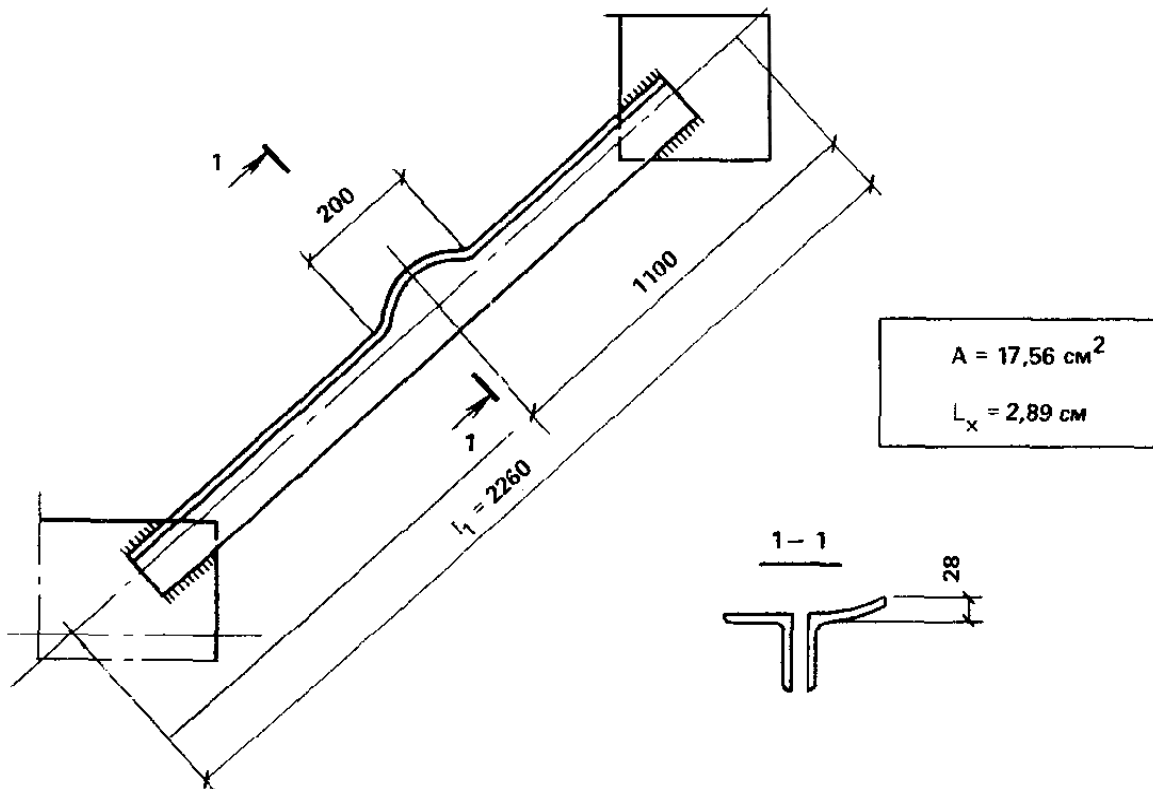


Рис. 3.1. К расчету раскоса фермы с погибью

Проверка по формуле (3.2):

$$\frac{N}{\varphi_{uv} k_{осл} A_0} \leq R_{yo} \gamma_c = 95/0,35 \cdot 0,77 \cdot 17,56 = 20,2 \text{ кН/см}^2 < 210 \text{ МПа}$$

показывает, что элемент может быть оставлен без усиления.

## Занятие № 4

### УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА

В данной задаче рассматривается грузоподъемная траверса, в которой в процессе ее эксплуатации возникла необходимость по увеличению грузоподъемности данной траверсы и в данной задаче предлагаются способы расчета ее и мероприятия по усилению данной траверсы на новые эксплуатационные нагрузки.

#### Пример 1

Рассматривается траверса грузоподъемностью 3 т, работающая на изгиб (рис. 4.1).

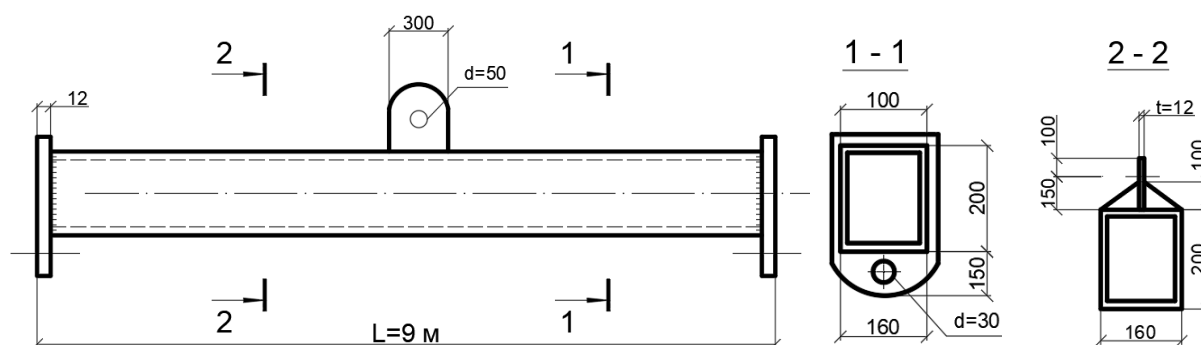


Рис. 4.1. Геометрические параметры траверсы

Данная траверса изготавливается из стали класса С275, сечение длиной 9 м.

Из гнутого замкнутого профиля 200x160x8 мм. Геометрические характеристики профиля:

- площадь сечения –  $A = 55,4 \text{ см}^2$ ;
- момент сопротивления –  $W_x = 319,1 \text{ см}^3$ ;
- $W_y = 281 \text{ см}^3$ ;
- радиус инерции –  $i_x = 7,61 \text{ см}$ ;
- $I_y = 6,39 \text{ см}$ ;
- вес профиля –  $G = 43,2 \text{ кг/м}$ .
- масса траверсы равна –  $G_{\text{тр}} = 0,41 \text{ т}$ ;
- $G_{\text{тр}} = 3 \text{ т}$ .

Расчетная нагрузка на траверсу:

$$P = G_{\text{тр}} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_0 + G_{\text{тр}} = 0,41 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 3 = 3,496 \text{ т},$$

где  $\gamma_n = 1,1$  – коэффициент надежности по ответственности;  $\gamma_0 = 1,1$  – коэффициент динамичности, согласно СП 20.13330.2016.

Максимальный изгибающий момент равен:



$$M = \frac{P \cdot L}{4} = \frac{3,496 \cdot 9}{4} = 7,866 \text{ т} \cdot \text{м},$$

где  $P$  – расчетная нагрузка на траверсу.

Несущая способность траверсы:

$$G = \frac{M}{W_x} = \frac{786600}{319,1} = 2470 < R_y = 2750 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2},$$

где  $M$  – максимальный изгибающий момент;  $W$  – момент сопротивления.

Прочность траверсы грузоподъемностью 3 т не обеспечена.

По новым условиям эксплуатации требуется увеличить грузоподъемность до 6 тонн.

Следовательно, требуется ее усиление.

Усиление выполняем методом увеличения сечения путем приварки с двух сторон прокатных швеллеров (рис. 4.2).

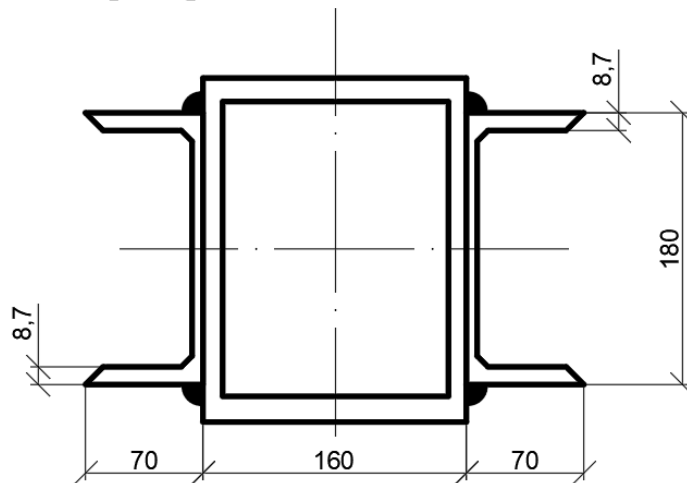


Рис. 4.2. Схема усиления траверсы

Характеристики профиля:

Швеллера принимаем № 18 по ГОСТ 8240-89

– площадь сечения –  $A = 20,7 \text{ см}^2$ ;

– момент сопротивления –  $W_x = 121 \text{ см}^3$ ;

– масса профиля –  $q = 16,3 \text{ кг/м}$ .

Момент инерции усиленного сечения:

$$W_{\text{ус}} = W_x + W_{x \text{ шв.}} = 319,1 + 2 \cdot 121 = 561,1 \text{ см}^3.$$

Нагрузка при грузоподъемности 6 тонн:

$$P = G_{\text{гр}} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_0 + G_{\text{гр}} = 0,703 + 6 = 6,703 \text{ т}.$$

Изгибающий момент при траверсе грузоподъемностью 6 тонн:

$$M = \frac{P \cdot l}{4} = \frac{6,703 \cdot 9}{4} = 15,082 \text{ т} \cdot \text{м} = 1508200 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$$

Напряжение в усиленной траверсе:

$$G = \frac{M}{W_{yc}} = \frac{1508200}{561,1} = 268,8 < R_y = 2750 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Таким образом, прочность усиленной траверсы грузоподъемностью 6 тонн обеспечена.

Приварку усиливающих швеллеров №18 выполняем электродами Э-46 по ГОСТ 9467 катетом 6мм.

Положение сварных швов приведено на (рис. 4.3).

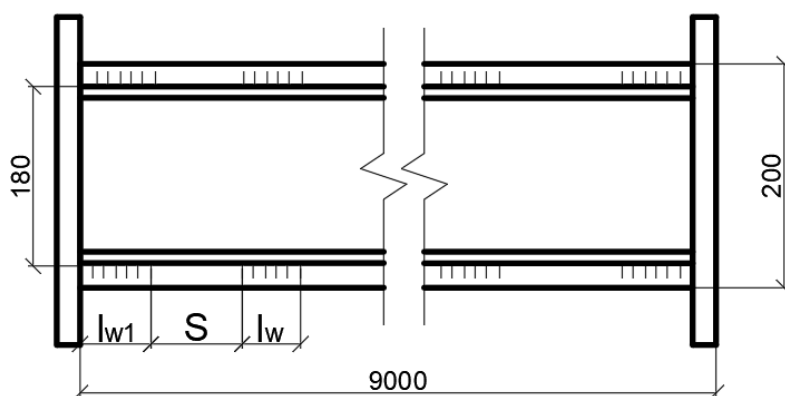


Рис. 4.3. Положение прерывистых швов

При конструировании прерывистых сварных швов, согласно СП 16.13330.2016, необходимо учитывать следующие требования.

1. Расстояние  $s$  между участками сварных швов (рис. 4.3), не должно превышать одного из значений: 200 мм,  $12t_{\min}$  в сжатом элементе ( $t_{\min}$  – толщина самого тонкого из соединяемых элементов),  $16t_{\min}$  в растянутом элементе.

2. При наложении прерывистого шва следует предусматривать шов по концам соединяемых частей элементов; длина  $l_{w1}$  этого шва в элементах составного сечения из пластин должна быть не менее  $0,75b$ , где  $b$  – ширина более узкой из соединяемых пластин.

Для снижения расхода стали выполняем усиливающие швеллера не на всю длину траверсы. Длину усиливающего элемента определяем из следующего условия равновесия моментов в точке 1 (рис. 4.4а).

Прочность исходной траверсы в точке 1:

$$M = W_x \cdot R_y.$$

Из условия равновесия моментов  $M$  и  $M_1$  в точке 1 получаем:

$$M = M_1 = R \cdot x = W_x \cdot R_y.$$

Следовательно,

$$x = \frac{W_x \cdot R_y}{R}$$

$$R = \frac{P}{2} = \frac{6,703}{2} = 3,352 \text{ т} - \text{нагрузка на крайней подвеске.}$$

$$X = \frac{780600}{3352} = 2330 \text{ см;}$$

Длину усиливающего швеллера № 18 принимаем 4,34 м.

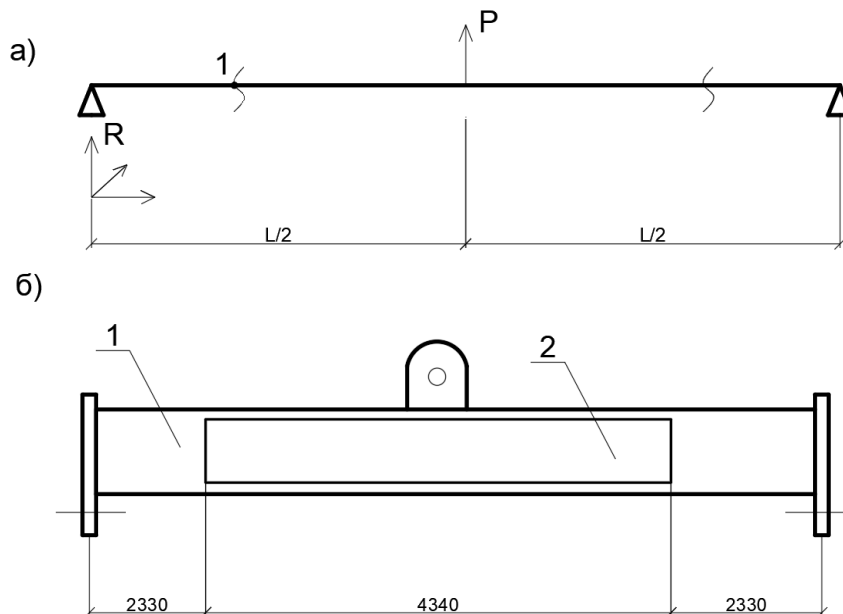


Рис. 4.4. Схема усиления траверсы: а) расчетная схема; б) усиленный элемент; 1 – исходная траверса; 2 – усиливающий элемент из прокатного швеллера

## Занятие № 5

### РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ПО КРИТЕРИЮ КРАЕВОЙ ТЕКУЧЕСТИ

Расчет усиленных стальных конструкций ведется по методу предельных состояний. Основная цель расчета – обеспечить прочность и устойчивость конструкций, а также ограничить их декоративность. Местная и общая устойчивость изгибаемых элементов обеспечивается конструктивными мероприятиями.

Расчет по первому предельному состоянию выполняется на силовые воздействия, вызванные обобщенной начальной нагрузкой до усиления  $q^{oc}$  и расчетной добавочной нагрузкой  $\Delta q$ , приложенная после усиления. Полная обобщенная нагрузка составит:  $q = q^{oc} + \Delta q$ .

Расчет по второму предельному состоянию выполняется на силовые воздействия, вызванные начально нормальной нагрузкой  $q_n^{oc}$  и нормальной добавочной нагрузкой  $\Delta q_n$ . В данном случае полная обобщенная нормативная нагрузка составит:  $q_n = q_n^{oc} + \Delta q_n$ .

Расчетная схема должна отражать как можно точнее и полнее реальные условия работы конструкции и то ее фактическое состояние, которое установлено данными обследований. В необходимых случаях следует выполнять расчет с использованием нескольких вариантов расчетных схем и распределения жёсткостей, а также учитывать прогнозируемый износ.

Расчет конструкций, усиливаемых путем увеличения сечений без полной разгрузки, необходимо выполнить:

– на нагрузки, действующие на конструкции во время усиления (начальное нагружение);

– на нагрузки, действующие на конструкции после их усиления, с выбором невыгодных вариантов их сочетания.

Уровень начального нагружения элементов конструкции ограничивается с целью обеспечения их несущей способности в процессе усиления. Этот уровень характеризуется коэффициентом  $\beta_o$ , представляющим собой абсолютную величину отношения наибольшего напряжения в усиливаемом элементе в момент усиления к его расчетному сопротивлению ( $\beta_o = |\sigma_{o.max}/R_{yo}|$ ). В общем случае сжатия (растяжения) с изгибом значения  $\sigma_o$  определяются формулой

$$\sigma_o = \frac{N_o}{A_{on}} \pm \frac{M_{ox}}{I_{ox}} y \pm \frac{M_{oy}}{I_{oy}} x,$$

где  $N_o, M_{ox}, M_{oy}$  – продольная сила и изгибающие моменты в наиболее нагруженном сечении элемента.

При расчете на устойчивость и деформативность следует учитывать начальные и дополнительные деформации, возникающие на стадии усиления. Искривления от сварки при проверке устойчивости сжатых и внецентренно-сжатых элементов, а также работающих на сжатие с изгибом, допускается учитывать введением дополнительного коэффициента условий работы  $\gamma_c = 0,8$ .

При расчете на прочность и деформативность коэффициенты условий работ принимаются в соответствии с указаниями разд. 4.3 СП 16.13330.2017. В расчетах на общую устойчивость  $\gamma_c = 0,9$ , если только в табл. 1 СП 16.13330.2017 не определено меньшее значение  $\gamma_c$ .

Коэффициент надежности по назначению  $\gamma_n$  принимается согласно Правил учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций. Для зданий и сооружений III класса ответственности на стадии, предшествующей началу работ по усилению (стадия А), и в период выполнения работ по усилению (стадия Б), допускается принимать  $\gamma_n = 0,8$ .

В зависимости от условий работы все усиливаемые несущие элементы стальных конструкций разделены на четыре класса, отличающие нормой допустимых предельных пластических деформаций.

I. Сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях эксплуатации (подкрановые балки для кранов режима работы 7К, 8К, элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, непосредственно воспринимающие нагрузки от подвижных составов). Расчеты прочности элементов условно выполняются в предположении упругой работы стали.

II. Элементы конструкций, непосредственно воспринимающие подвижные, динамические или вибрационные нагрузки и не входящие в группу I. Норма предельных (лимитированных пластических деформаций):  $e_{p,lim} = 0,001$ .

III. Элементы конструкций, работающие при статических нагрузках, кроме элементов, относящихся к классу IV,  $e_{p,lim} = 0,002$ .

IV. Элементы конструкций, работающие при статических нагрузках и удовлетворяющих требованиям пп. 8.4, 8.5 СП 16.13330.2017 по обеспечению общей и местной устойчивости при развитых пластических деформациях,  $e_{p,lim} = 0,004$ .

Расчет усиления сварных конструкций, для которых вводятся достаточно жесткие ограничения на величину  $e_{p,lim}$ , осуществляется в форме условного упругого расчета по критерию краевой текучести с использованием соответствующих редуцированных коэффициентов, учитывающих развитие упругопластических деформаций.

Проверка прочности элементов по критерию краевой текучести выполняется по следующим формулам:

– центрально-растянутые или сжатые, симметрично усиленные элементы:

$$\frac{N}{A} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_N, \quad (5.1)$$

где  $N = N_0 + \Delta N$ ;  $A = A_0 + A_r$ ;  $\Delta N$  – усилие в элементе от дополнительной нагрузки, приложенной к конструкции после ее усиления;  $A_r = \sum A_n$  – суммарная площадь сечения усиливающих деталей;  $\gamma_c = 0,9$  – коэффициент условий работы;  $\gamma_N$  – коэффициент, учитывающий уровень и знак начальной осевой силы  $N_0$ ;  $R_{yo}$  – определяется по данным заводских сертификатов или по результатам испытаний образцов. Для растянутых и сжатых элементов, усиленных без использования сварки  $\gamma_N = 0,95$ . Для сжатых элементов, усиленных с помощью сварки,  $\gamma_N = 0,95 - 0,25 \beta_0$ , где  $\beta_0 = |\sigma_0/R_{yo}|$  – коэффициент, характеризующий уровень начального нагружения;

– изгибаемые элементы:

$$\frac{M}{W} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_M, \quad (5.2)$$

где  $M = M_0 + \Delta M$ ;  $W$  – момент оправления в расчетном сечении после усиления;  $\Delta M$  – величина изгибающего момента в расчетном сечении несущего элемента от дополнительной нагрузки, приложенной к конструкции после ее усиления;

– сжато и растянуто-изогнутые элементы:

$$\frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_M. \quad (5.3)$$

В формулах (5.2) и (5.3) для несущих элементов зданий и сооружений I класса принимается  $\gamma_M = 0,95$ ; для элементов зданий II и III классов –  $\gamma_M = 1$ . При  $\frac{N}{A \cdot R_{yo}} \leq 0,6$  значение принимаются равными  $\gamma_N$ ;  $M_x$  и  $M_y$  – изгибающие соответствующие моменты сопротивления после усиления.

При разделении работы сечения на стадии, условие прочности (5.1) для растянутых элементов конструкций II и III классов сооружений будет иметь вид:

$$\sigma = \frac{N_0}{A_0} + \frac{\Delta N}{A} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c. \quad (5.4)$$

Требуемая площадь усиливающих деталей определяется:

$$A_r \geq \frac{N - A_0 \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c}{R_{yo} \cdot \gamma_c - \frac{N_0}{A_0}}. \quad (5.5)$$

Для изгибаемых элементов условие прочности (5.2), при разделении на стадии, запишется:

$$\frac{M_0}{W_0} + \frac{\Delta M}{W_{x,од}} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c, \quad (5.6)$$

где  $W_{x,од} = J_{x,од} / y_{ф}^{oc}$ ;  $J_{x,од}$  – момент инерции усиленного сечения относительно нейтральной оси  $x_{од}$ , проходящей через новый центр тяжести при несимметричном усилении;  $y_{ф}^{oc} = y_p(y_c)$  – координата фибрового слоя основного сечения относительно этой же оси. Если напряжения в крайних растянутых и сжатых волокнах основного сечения выравниваются после догрузки за счет смещения центра тяжести, то условие (5.6) должно выполняться как для растянутой, так и для сжатой зоны сечения.

При одностороннем усилении несимметричного изгибаемого элемента (рис. 5.1) требуемая площадь сечения  $A_r$  для заданной расчётной величины коэффициента асимметрии усиленного сечения  $\alpha_y$  находится следующим образом:

$$A_r \geq \frac{\alpha_y(\alpha_0 + 1)^2}{k^2 \cdot h \cdot \alpha_y^2(\alpha_0 + 1)} \left( \frac{\Delta M}{R_{y0} \cdot \gamma_c - \sigma_0} \left[ 1 - \frac{k(\alpha_0 - \alpha_y)}{\alpha_0(\alpha_y + 1)} \right] - W_0 \right) - A_0 \frac{(\alpha_0 - \alpha_y)^2}{\alpha_y^2(\alpha_0 + 1)^2}, \quad (5.7)$$

где  $\alpha_0 = \frac{y_{o.p}}{y_{o.c}}$  – коэффициент асимметрии основного сечения до его усиления. Значения данного коэффициента обычно ограничиваются интервалом (1...1,4);  $\alpha_0 = \frac{y_r}{y_c}$  – коэффициент асимметрии усиленного сечения. Рациональные значения данного коэффициента находятся в диапазоне (0,9...1,1);  $y_r$  – расстояние от центра тяжести усиленного сечения до центра тяжести усиливающей детали (рис. 5.1а);  $k = 1 + \frac{t_f}{2h}$  – редуцированный коэффициент;  $t_f$  – толщина наиболее развитого пояса двутавра.

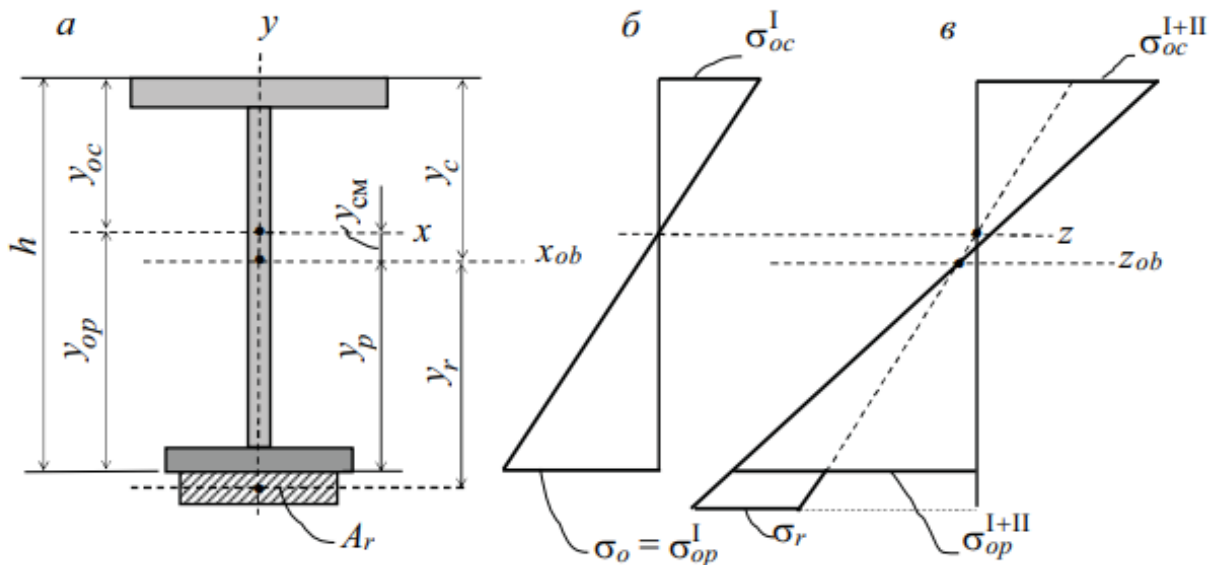


Рис. 5.1. Напряженное состояние двутаврового несимметричного сечения при одностороннем усилении: а – расчетное поперечное сечение; б – эпюра нормальных напряжений до усиления (стадия I); в – эпюра суммарных нормальных напряжений после усиления (стадия I+II)

Значение  $\alpha_y$  предварительно можно найти по формуле:

$$\alpha_y = \sqrt{\frac{R_{y0} \cdot \gamma_c - \sigma_0}{\Delta M}} \alpha_0 \quad (5.8)$$

### Пример 1

Подобрать сечение усиливающей детали при одностороннем усилении стальной балки, поперечное сечение которой показано на рис. 5.2. Усиливается

нижний растянутый пояс с помощью листовой стали, расположенной снаружи (рис. 5.2.). Проверить прочность балки и построить эпюры нормальных напряжений в расчетном сечении до и после усиления.

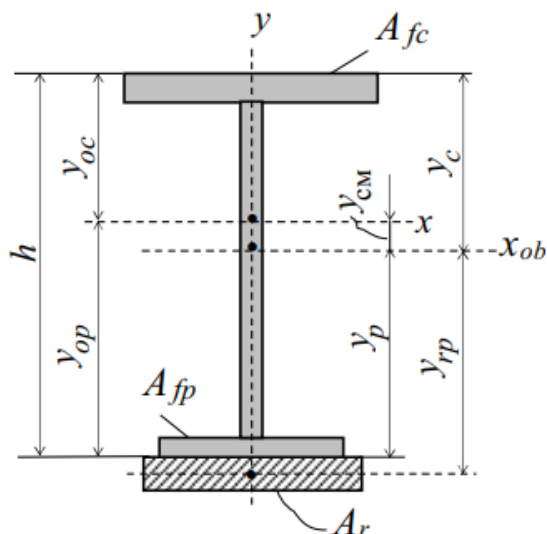


Рис. 5.2. Расчетное сечение балки

*Исходные данные.* Расчетный изгибающий момент до усиления составляет:  $M_0 = 70 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ; приращение момента –  $\Delta M = 30 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Расчетное сопротивление стали балки  $R_{y0} = 22,5 \text{ кН/см}^2$  – элемент усиления,  $R_{yr} = 22 \text{ кН/см}^2$ ;  $\gamma_c = 0,9$ ;  $\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} = 17,23 \text{ кН/см}^2$ .

Геометрические характеристики расчетного сечения приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

### Геометрические характеристики расчётного сечения

h	$y_{op}$ / $y_{oc}$	$b_{fc}$ / $t_{fc}$	$A_{fc}$	$b_{fp}$ / $t_{fp}$	$A_{fp}$	$h_w$ / $t_w$	$A_0$	$I_0$	$W_0$
40	23,65 / 16,35	14 / 1,4	19,6	7 / 1,0	7,0	37,6 / 1,0	64,2	9608,3	406,3

**Вариант 1.** Расчет по критерию краевой текучести. Из условия прочности (2) находим требуемый момент сопротивления усиленного сечения.

$$W_{\text{тр}} \geq \frac{M_0 + \Delta M}{R_{y0} \cdot \gamma_c} = \frac{(70 + 30) \cdot 10^2}{20,25} = 493,8 \text{ см}^3.$$

Требуемый момент инерции в первом приближении без учета смещения центра тяжести сечения после усиления составит:

$$I_{x,об,тр} = W_{\text{тр}} \cdot y_{op} = 493,8 \cdot 23,65 = 12846,9 \text{ см}^4.$$

Исходя из равенства  $I_{x,об,тр} - I_0 = A_r \cdot y_{op}^2$  находим



$$A_r = \frac{I_{x,об,тр} - I_0}{y_{op}^2} = \frac{12846,9 - 9608,3}{23,65^2} = 5,79 \text{ см}^2.$$

Принимаем сечение листа усиливающей детали 84x7 мм.

Тогда:

$$A_r = 5,88 \text{ см}^2; A = A_0 + A_r = 64,2 + 5,88 = 70,08 \text{ см}^2.$$

$$y_{см} = \frac{A_r \left( y_{op} + \frac{t_r}{2} \right)}{A} = \frac{5,88(23,65 + 0,35)}{70,08} = 2,01 \text{ см}.$$

$$y_r = y_{op} + t_r/2 - y_{см} = 23,65 + 0,35 - 2,01 = 21,99 \text{ см}.$$

$$I_{x,об} = I_0 + A_0 \cdot y_{см}^2 + b_r \cdot \frac{t_r^3}{12} + A_r \cdot y_r^2 =$$

$$= 9608,3 + 64,2 \cdot 2,01^2 + 8,4 \cdot \frac{0,7^3}{12} + 5,88 \cdot 21,99^2 = 12711 \text{ см}^4.$$

$$W = \frac{I_{x,об}}{y_{op} - y_{см}} = \frac{12711}{23,65 - 2,01} = 587,38 \text{ см}^3.$$

Проверяем условие прочности (5.2):

$$\frac{M}{W} = \frac{(70 + 30)10^2}{587,38} = 17,02 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{yo} \cdot \gamma_c = 20,25 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Условие выполнено.

Фактические напряжения при разделении на стадии составят:

$$\frac{M_0}{W_0} + \frac{\Delta M}{W} = \frac{70 \cdot 10^2}{406,3} + \frac{30 \cdot 10^2}{587,38} = 17,22 + 5,11 = 22,33 > 20,25.$$

Таким образом, проектирование сечения усиливающих деталей на основании условия прочности (5.2) дает заниженные результаты при уровне начального нагружения:  $\beta = \sigma_0/R_{yo} < 0,8$ .

### **Вариант 2. Расчет усиления при разделении на стадии.**

Расчет рассматриваемого выше сечения (рис. 5.2) в данном случае осуществляется на основании формул (5.6) и (5.7).

Коэффициент асимметрии сечения после усиления  $\alpha_y$  может находиться в интервале  $0,8 \leq \alpha_y \leq 1,2$ . Принимаем:  $\alpha_y = 1,0$ . Значение редуцированного коэффициента при одностороннем усилении составит:

$$k = \frac{h + t_2}{h} = \frac{40 + 1,4}{40} = 1,035.$$

Тогда, на основании формулы (5.7), находим требуемую площадь усиленной детали:

$$A_r \geq \frac{\alpha_y(\alpha_0 + 1)^2}{k^2 \cdot h \cdot \alpha_y^2(\alpha_0 + 1)} \left( \frac{\Delta M}{R_{yo} \cdot \gamma_c - \sigma_0} \left[ 1 - \frac{k(\alpha_0 - \alpha_y)}{\alpha_0(\alpha_y + 1)} \right] - W_0 \right) - A_0 \frac{(\alpha_0 - \alpha_y)^2}{\alpha_y^2(\alpha_0 + 1)^2} =$$

$$\frac{1,446 \cdot (2,0)^2}{1,035^2 \cdot 40 \cdot 1,0^2 \cdot 2,446} \left( \frac{3000}{20,25 - 17,23} \cdot \left[ 1 - \frac{1,035(1,446 - 1,0)}{1,446 \cdot 2,0} \right] - 406,3 \right) - 64,2 \frac{(1,446 - 1,0)^2}{1,0^2 \cdot 2,446^2} = 23,648 - 2,134 = 21,51 \text{ см}^2.$$

Принимаем размеры сечения усиливающей детали 108x20 мм.

Тогда

$$A_r = 21,6 \text{ см}^2; A = A_0 + A_r = 64,2 + 21,6 = 85,8 \text{ см}^2.$$

$$y_{\text{см}} = \frac{A_r \left( y_{\text{оп}} + \frac{t_r}{2} \right)}{A} = \frac{21,6(23,65 + 1,0)}{85,8} = 6,2 \text{ см.}$$

$$y_r = y_{\text{оп}} + t_r/2 - y_{\text{см}} = 23,65 + 1,0 - 6,2 = 18,45 \text{ см.}$$

$$I_{x,\text{об}} = I_0 + A_0 \cdot y_{\text{см}}^2 + b_r \cdot \frac{t_r^3}{12} + A_r \cdot y_r^2 =$$

$$= 9608,3 + 64,2 \cdot 6,2^2 + 10,8 \cdot \frac{2,0^3}{12} + 21,6 \cdot 18,45^2 = 19436 \text{ см}^4.$$

$$W = \frac{I_{x,\text{об}}}{y_{\text{оп}} - y_{\text{см}}} = \frac{19436}{23,65 - 6,2} = 1113,8 \text{ см}^3.$$

Проверяем условие прочности (5.6):

$$\frac{M_0}{W_0} + \frac{\Delta M (y_{\text{оп}} - y_{\text{см}})}{I_{x,\text{об}}} = \frac{70 \cdot 10^2}{406,3} + \frac{30 \cdot 10^2 (23,65 - 6,2)}{19436} = 19,92 < 20,25.$$

Условие прочности выполнено.

Находим величину нормальных напряжений в верхних и нижних крайних волокнах усиленного сечения и строим эпюры напряжений до и после усиления (рис. 5.3).

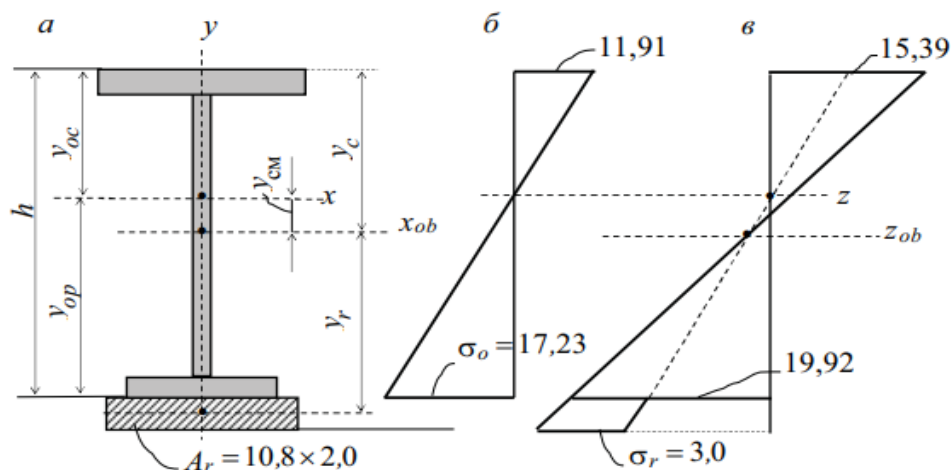


Рис. 5.3. Напряженное состояние расчетного двутаврового несимметричного сечения при одностороннем усилении: а – расчетное поперечное сечение; б – эпюра нормальных напряжений до усиления; в – эпюра суммарных нормальных напряжений после усиления

$$\frac{M_0 \cdot y_{oc}}{I_0} + \frac{\Delta M \cdot y_c}{I_{x,об}} = \frac{70 \cdot 10^2 \cdot 16,35}{9608,3} + \frac{30 \cdot 10^2 \cdot 22,55}{19436} = 11,91 + 3,48$$

$$= 15,39 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

$$\sigma_r = \frac{\Delta M \cdot (y_r + t_r/2)}{I_{x,об}} = \frac{30 \cdot 10^2 \cdot (18,45 + 1,0)}{19436} = 3,0 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

## Занятие № 6

### РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОЙ СТОЙКИ ИЗ РАСЧЕТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ

В расчетах усиления центрально-сжатых элементов при разделении на стадии принимается, что усиливающие детали воспринимают только приращение усилий от нагрузок, прикладываемых после усиления. Однако учитывается, что потеря устойчивости происходит в стержне, имеющем новое сечение, поэтому в расчет вводится гибкость стержня после усиления.

К моменту усиления осевое усилие не должно превышать величины

$$N_0 = 0,8 R_{yo} \gamma_c \varphi_0 A_0, \quad (6.1)$$

где  $\varphi_0$  – коэффициент продольного изгиба стержня до усиления.

Условие устойчивости центрально-сжатого стержня после усиления

$$\frac{N_0}{A_0 \cdot \varphi_{об}} + \frac{\Delta N}{(A_0 + A_r) \varphi_{об}} \leq R_{yo} \gamma_c, \quad (6.2)$$

где  $\varphi_{об}$  – коэффициент продольного изгиба усиленного элемента;  $\Delta N$  – усилие в элементе от дополнительной нагрузки, приложенной к конструкции после ее усиления;  $R_{yo}$  – определяется по данным заводских сертификатов или по результатам испытаний образцов;  $A_r = \sum A_n$  – суммарная площадь сечения усиливающих деталей;  $\gamma_c = 0,9$  – коэффициент условий работы.

Требуемая площадь элементов усиления определяется:

$$A_{r,тр} \geq \frac{N_0 + \Delta N - \varphi_{об} \cdot A_0 \cdot R_{yo} \cdot \gamma_c}{\varphi_{об} (R_{yo} \cdot \gamma_c - N_0/A_0)}. \quad (6.3)$$

Если элементы усиления (усиливающие детали) принимаются в виде прокатного профиля или отношения  $\varphi_{0b}/\varphi_0 > 1,15$ , то формула (6.3) будет иметь вид:

$$A_{r,тр} \geq \frac{k_\varphi N_0 + \Delta N - \varphi_{0b} \cdot A_0 \cdot R_{y0} \cdot \gamma_c}{\varphi_{0b} (R_{y0} \cdot \gamma_c - N_0/A_0)}, \quad (6.4)$$

где  $k_\varphi = \varphi_{0b}/\varphi_0$ .

При расчете по формулам (6.3) и (6.4) значение коэффициента  $\varphi_{0b}$  в первом приближении принимают в интервале (0,6...0,7) с последующей корректировкой по действительной гибкой скомпонованного сечения.

### Пример 1

Рассчитать усиление центрально-сжатой стойки прямоугольного поперечного сечения (рис. 6.1) из расчета на устойчивость относительно плоскости наименьшего сопротивления изгибу.

*Исходные данные.* Высота стойки  $l=8$  м. По условию закрепления  $\mu = 1$ . Расчетная сжимающая сила, действующая на стойку до усиления составляет:  $N_0 = 600$  кН. Приращение после усиления –  $\Delta N = 450$  кН. Расчетное сопротивление стали основного сечения по результатам обследования:  $R_{y0} = 22,0$  кН/см<sup>2</sup>; элемента усиления –  $R_{yr} = 23$  кН/см<sup>2</sup>;  $\gamma_c = 0,9$ ;  $\gamma_N = 0,95$ . Поперечное сечение сжатой стойки представляет собой два спаренных швеллера № 27 (рис. 6.1а).

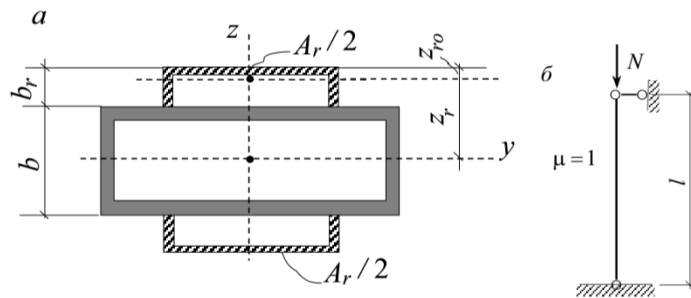


Рис. 6.1. К расчету усиления центрально-сжатой стойки:  
а – расчетная схема; б – схема расчетного сечения усиленной стойки

Геометрические характеристики основного сечения:

$$A_0 = 70,4 \text{ см}^2; J_{y0} = 4073 \text{ см}^4.$$

*Решение*

1. Находим радиус инерции основного сечения:

$$i_y = \sqrt{\frac{J_{y0}}{A_0}} = \sqrt{\frac{4073}{70,4}} = 7,606 \text{ см.}$$

2. Определим гибкость стойки до усиления в плоскости наименьшего сопротивления изгиба:

$$\lambda_y = \frac{l_p}{i_y} = \frac{800}{7,606} = 105,2.$$

3. По табл. Д.1 СП 16.13330., при  $\lambda = 105,2$  и  $R_{y0} = 22,0$ , находим коэффициент продольного изгиба  $\varphi_0 = 0,539$ .

4. К моменту усиления необходимо проверить уровень начального нагружения:

$$N_0 = 600 \text{ кН} \leq 0,8 R_{y0} \gamma_c \varphi_0 A_0 = 0,8 \cdot 22,0 \cdot 0,9 \cdot 0,539 \cdot 70,4 = 601,05 \text{ кН}.$$

Условие выполняется.

5. По формуле (6.4) определяем требуемую площадь элементов усиления, которые приняты в виде симметрично расположенных относительно оси  $y$  прокатных профилей. Коэффициент продольного изгиба усиленной стойки  $\varphi_{0b}$  в первом приближении принимается равным  $\varphi_{0b} = 0,7$ . Другие необходимые параметры в данном случае принимают значения

$$k_\varphi = \varphi_{0b} / \varphi_0 = 0,7 / 0,539 = 1,3; R_{y0} \gamma_c = 19,8 \text{ кН/см}^2.$$

Тогда:

$$A_{r, \text{тр}} \geq \frac{k_\varphi N_0 + \Delta N - \varphi_{0b} \cdot A_0 \cdot R_{y0} \cdot \gamma_c}{\varphi_{0b} \left( R_{y0} \cdot \gamma_c - \frac{N_0}{A_0} \right)} = \frac{1,3 \cdot 600 + 450 - 0,7 \cdot 70,4 \cdot 19,8}{0,7 \left( 22,0 \cdot 0,9 - \frac{600}{70,4} \right)} = 32,2 \text{ см}^2.$$

Принимаем сечение усиливающих деталей в виде двух швеллеров № 16, симметрично расположенных относительно главной центральной оси  $y$ .

6. Определим расчетные характеристики усиленной стойки:

$$\begin{aligned} A_r &= 2 \cdot 18,1 = 36,2 \text{ см}^2; A = A_0 + A_r = 70,4 + 36,2 = 106,6 \text{ см}^2; z_{r0} \\ &= 1,8 \text{ см}; z_r = \frac{b}{2} + b_1 - z_{r0} = \frac{19,0}{2} + 6,4 - 1,8 = 14,1 \text{ см}; I_{y,ob} \\ &= I_{ob} + 2 \left[ I_{yr} + \frac{A_r}{2} \cdot z_r^2 \right] = 4073 + 2(63,3 + 18,1 \cdot 14,1^2) \\ &= 11396,5 \text{ см}^2; \end{aligned}$$

$$I_{y,ob} = \sqrt{\frac{I_{y0,ob}}{A}} = \sqrt{\frac{11396,5}{106,6}} = 10,34 \text{ см}; \lambda_{y,ob} = \frac{l_p}{i_{y.ob}} = \frac{800}{10,34} = 77,37.$$

7. По табл. Д.1 СП 16.13330, при  $\lambda = 77,37$  и  $R_{y0} = 22,0$ , находим коэффициент продольного изгиба усиленной стойки:

$$\varphi_0 = 0,74; \quad k_\varphi = \varphi_{0b}/\varphi_0 = 0,74/0,539 = 1,37.$$

8. Определим требуемую площадь элементов усиления во втором приближении:

$$A_{r,тр} \geq \frac{k_\varphi N_0 + \Delta N - \varphi_{0b} \cdot A_0 \cdot R_{y0} \cdot \gamma_c}{\varphi_{0b} \left( R_{y0} \cdot \gamma_c - \frac{N_0}{A_0} \right)} = \frac{1,37 \cdot 600 + 450 - 0,7 \cdot 70,4 \cdot 19,8}{0,74 \left( 19,8 - \frac{600}{70,4} \right)} = 28,82 \text{ см}^2.$$

Принимаем новое сечение усиливающих деталей в виде двух швеллеров № 14, симметрично расположенных относительно главной центральной оси у (рис. 6.16).

9. Определим расчетные характеристики усиленной стойки:

$$\begin{aligned} A_r &= 2 \cdot 15,6 = 31,2 \text{ см}^2; \quad A = A_0 + A_r = 70,4 + 31,2 = 106,6 \text{ см}^2; \quad z_{r0} \\ &= 1,67 \text{ см}; \quad z_r = \frac{b}{2} + b_1 - z_{r0} = \frac{19,0}{2} + 5,8 - 1,67 \\ &= 13,63 \text{ см}; \quad I_{y,ob} = I_{ob} + 2 \left[ I_{yr} + \frac{A_r}{2} \cdot z_r^2 \right] \\ &= 4073 + 2(45,4 + 15,6 \cdot 13,63^2) = 9960 \text{ см}^2; \end{aligned}$$

$$I_{y,ob} = \sqrt{\frac{I_{y0,ob}}{A}} = \sqrt{\frac{9960}{101,6}} = 9,9 \text{ см}; \quad \lambda_{y,ob} = \frac{l_p}{i_{y.op}} = \frac{800}{9,9} = 80,8.$$

10. По табл. Д.1 СП 16.13330, при  $\lambda = 80,8$  и  $R_{y0} = 22,0$ , находим коэффициент продольного изгиба усиленной стойки:  $\varphi_0 = 0,704$ .

11. Проверим условие устойчивости центрально-сжатого стержня после усиления:

$$\begin{aligned} \frac{N_0}{A_0 \cdot \varphi_{0b}} + \frac{\Delta N}{(A_0 + A_r)\varphi_{0b}} &= \frac{600}{0,704 \cdot 70,4} + \frac{450}{0,704 \cdot 101,6} = 18,4 \leq R_{y0}\gamma_c \\ &= 19,8 \text{ кН/см}^2. \end{aligned}$$

Таким образом, условие выполняется.

## Занятие № 7

### РАСЧЕТ ПРОГИБА УСИЛЕННОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ ОСТАТОЧНОГО ПРОГИБА

Перемещения (прогиб, отклонения от вертикали) усиленных элементов конструкций определяются по формуле:

$$f = f_0 + f_w + \Delta f, \tag{7.1}$$

где  $f_0$  – начальное перемещение;  $f_w$  – дополнительное перемещение (прогиб) при усилении элемента с использованием сварки.

Дополнительные перемещения  $f_w$  можно не учитывать:

– при  $\frac{\sigma_{o,max}}{R_{y.o}} \leq 0,3$ ;

– при несимметричном одностороннем усилении элемента со стороны растянутых волокон;

– при усилении неразрезных многопролетных элементов (например, неразрезных балок) либо элементов рамных конструкций, имеющих жесткие узлы сопряжения с примыкающими элементами.

В случае усилении изгибаемых элементов (балок) на части их длины значения  $f_w$  могут быть уточнены по формуле:

$$f_w = a \cdot \frac{v_r \cdot l_r}{8l} (2l - l_r) \cdot \sum n_i \cdot y_i, \quad (7.2)$$

где  $l$  – пролет балки;  $l_r$  – длина элемента усиления;  $v_r = 0,04 k_f^2$  – параметр продольного укорочения элемента от наложения одиночного шва;  $k_f$  – катет связующих швов, см;  $n_i = 1 - u \cdot \frac{\ln(1-\xi_i)}{\ln 2}$  – коэффициент, учитывающих начальное напряженно-деформированное состояние элемента и схему его усиления;  $\xi_i = \frac{\sigma_{oi}}{R_{y0}}$  – коэффициент, характеризующий уровень начальных напряжений в зоне  $i$ -го шва в наиболее нагруженном сечении элемента;  $u = 1,5$  при швах, расположенных только в растянутой зоне сечения,  $u=0,7$  при расположенных их только в сжатой зоне; если сварные швы в обеих зонах, то  $u=1$ ;  $\Delta f$  – приращение перемещений от нормативных нагрузок, приложенных после усиления.

### Пример 1

Определить прогиб усиленной балки с учетом остаточного прогиба, возникающего вследствие приварки элементов усиления. Произвести проверку на жесткость. Расчетная схема балки показана на рис. 7.1.

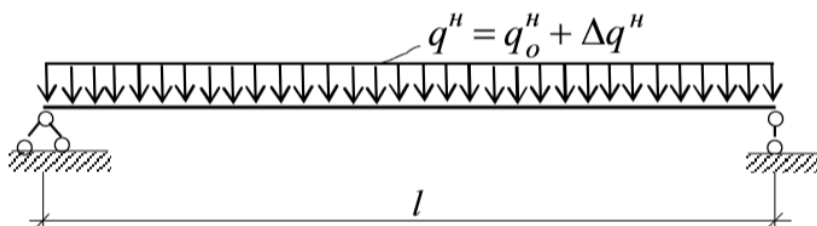


Рис. 7.1. К расчету примера

*Исходные данные.* Расчетная длина балки  $l = l_0 = 5$  м;  $q_0^H = 15,0$  кН/м. Приращение нагрузки после усиления -  $\Delta q^H = 6$  кН/м. Допустимые прогибы балки составляют:  $\frac{1}{400} l = \frac{500}{400} = 1,25$  см.

*Решение*

1. Определим начальный прогиб балки до усиления:

$$f_0 = \frac{5q_0^H \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_0} = \frac{5 \cdot 15,0 \cdot 10^{-2} \cdot 500^4}{384 \cdot 20600 \cdot 9608,3} = 0,617 \text{ см.}$$

2. Находим дополнительный прогиб после усиления:

$$\Delta f = \frac{5\Delta q^H \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{0,об}} = \frac{5 \cdot 6,0 \cdot 10^{-2} \cdot 500^4}{384 \cdot 20600 \cdot 19436} = 0,122 \text{ см.}$$

3. Определяем дополнительный прогиб при усилении элемента с использованием сварки по формуле (7.2):

4.

$$f_w = a \cdot \frac{v_r \cdot l_r}{8I} (2l - l_r) \cdot \sum n_i \cdot y_i,$$

где  $a=1$ ;  $v_r = 0,04k_a^2 = 0,04 \cdot 0,4^2 = 6,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $l = l_r = 500$  см;  $I = I_{x,об} =$

$19436 \text{ см}^4$ ,  $n_i = 1 - u \cdot \frac{\ln(1-\xi_i)}{\ln 2} = 1 - 0,7 \frac{-1,45}{0,693} = 2,46$ ;  $u=0,7$ ;

$$\xi_i = \frac{\sigma_{oi}}{R_{y0}} = \frac{17,23}{22,5} = 0,766;$$

$$y_i = y_{op} - y_{см} = 23,65 - 6,2 = 17,45 \text{ см.}$$

Тогда

$$f_w = 1 \cdot \frac{6,4 \cdot 10^{-3} \cdot 500^2}{8 \cdot 19436} (2,46 \cdot 17,45) = 0,442 \text{ см.}$$

Прогиб усиленной балки, определяемый формулой (7.1), не должен превышать  $[f]$ :

$$f = f_0 + f_w + \Delta f = 0,617 + 0,442 + 0,122 = 1,181 \leq [f] = \frac{1}{400} l = \frac{500}{400} = 1,25 \text{ см.}$$

Условие выполняется.



## Занятие № 8

# РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ ИЗ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

В рассматриваемом задании использованы стальные гнутосварные профили пролетом 18 метров. Фермы запроектированы и рассчитаны по существующей методике. Однако за длительный период эксплуатации пояса этих ферм получили коррозию. Величина этой коррозии определена в результате их обследований.

В данном примере приведены выполнение рамных расчетов фермы. Даны такие данные по параметрам коррозии поясов.

Выполнен расчет геометрических характеристик поясов с результатами их коррозии, сделан расчет несущей способности, а также даны схемы усиления этих поясов.

### 1. Исходные данные

Пролет фермы – 18 м. Шаг ферм – 6 м. Очертание решетки – фермы с параллельными поясами высотой по наружным граням поясов 2000 мм. Уклон верхнего пояса 1,5%. Опирание на колонны – шарнирное. Класс ответственности здания – II. Материал конструкций: гнутосварные профили – сталь С255 по ГОСТ 27772-2015. Сварка полуавтоматическая в среде углекислого газа сварочной проволокой марки СВ-08Г2С (ГОСТ 2246-70\*) диаметром  $d = 2$  мм. Ферма не подвержена непосредственному действию динамических нагрузок.

### 2. Статический расчет фермы

Расчетная узловая сила на ферму

– от постоянной нагрузки:

$$P_n = 282,3 \text{ кН};$$

– от снеговой нагрузки:

$$P_s = 239,4 \text{ кН}.$$

Горизонтальную рамную нагрузку принимаем:

$$P_p = 80,0 \text{ кН}.$$

Результаты статического расчета приведены в таблице.

Таблица 8.1

## Расчетные продольные усилия в стержнях фермы, кН

Элементы фермы	Обозначение стержня	Усилия от единичной нагрузки $P=1$ кН			Усилие от постоянной нагрузки $P_n = 282,3$ кН	Усилие от снеговой нагрузки $P_n = 239,4$ кН			Усилие от единичной сжимающей силы $H=1$ кН	Усиление от сжимающей силы $P_p = 80,0$ кН	Расчетные усилия, кН	
		слева	справа	с двух сторон		слева	справа	с двух сторон			сжатие	растяжение
Верхний пояс	а-1	-1,4	-0,6	-2,0	-56,46	-33,52	-14,36	-47,88	-1	-80,0	-184,34	–
	б-г	-3,3	-1,6	-4,9	-138,33	-79,00	-38,31	-117,31	-1	-80,0	-335,64	–
	д-3	-3,5	-2,8	-6,3	-177,85	-83,79	-67,03	-150,82	-1	-80,0	-408,67	–
Нижний пояс	б-5	2,7	1,2	3,9	110,1	64,64	28,73	93,37	0	0	–	203,47
	г-5	3,8	2,2	6,0	169,38	90,97	52,67	143,64	0	0	–	313,02
	е-5	3,3	3,3	6,6	186,32	79,0	79,0	158,0	0	0	–	344,32
Раскосы	а-5	2,3	0,9	3,2	90,34	55,06	21,55	76,61	0	0	–	166,95
	а-б	-2,2	-0,9	-3,1	-87,51	-52,66	-21,55	-74,21	0	0	-161,72	–
	б-в	0,9	0,9	1,8	50,81	21,55	21,55	43,10	0	0	–	93,91
	в-г	-0,9	-0,9	-1,8	-50,81	-21,55	-21,55	-43,10	0	0	-93,91	–
	г-д	-0,4	0,9	0,5	14,12	21,55	21,55	11,97	0	0	–	35,67
	д-е	0,4	-0,9	-0,5	-14,12	-21,55	-21,55	-11,97	0	0	-35,67	–

### 3. Подбор сечений стержневой фермы

#### 3.1. Подбор сечений верхнего сжатого пояса

Верхний пояс принимаем без изменений сечения по всей длине фермы. ГСП применяется прямоугольного сечения и рассчитывается на усилие

$$N_{д-з} = 408,67 \text{ кН.}$$

Предварительно задаемся коэффициентом  $\varphi=0,7$ .

Требуемая площадь сечения:

$$A_{\text{тр}} = \frac{N_{д-з}}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{408,67}{0,7 \cdot 24 \cdot 1} = 24,3 \text{ см}^2$$

Принимаем профиль сечением Гн. □ 160x120x5

$$A=26,4 \text{ см}^2; i_x=6,04 \text{ см}; i_y=4,84 \text{ см.}$$

Значение  $\frac{D_b}{t} = \frac{160}{5} = 32 < 45$ , не превышает предельную величину.

Гибкость стержня:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{6,04} = 49,7;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{300}{4,84} = 62;$$

$$\varphi_e = 0,79.$$

Предельные гибкости:

$$a_x = \frac{N_{д-з}}{\varphi_x A R_y \gamma_c} = \frac{408,67}{0,85 \cdot 26,4 \cdot 24 \cdot 1} = 0,76;$$

$$[\lambda]_x = 180 - 60a_x = 180 - 60 \cdot 0,76 = 134,5 > \lambda_x = 49,7;$$

$$a_y = \frac{N_{д-з}}{\varphi_y A R_y \gamma_c} = \frac{408,67}{0,79 \cdot 26,4 \cdot 24 \cdot 1} = 0,82;$$

$$[\lambda]_y = 180 - 60a_y = 180 - 60 \cdot 0,82 = 131,0 > \lambda_y = 62;$$

Условие соблюдается.

Проверка устойчивости стержня:

$$\sigma = \frac{N_{д-з}}{\varphi A} = \frac{408,67}{0,79 \cdot 26,4} = 19,6 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} R < R_y \gamma_c = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Устойчивость обеспечена.

Проверяем гибкость стенки:

$$\frac{h_{ef}}{t} = \frac{D_b - 4t}{t} = \frac{160 - 4 \cdot 5}{5} = 28 < \left[ \frac{h_{ef}}{t} \right] = 1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 1,29 \sqrt{\frac{206 \cdot 10^3}{240}}$$

$$= 37,8.$$

Условие выполняется, поэтому при расчете пояса во внимание принимается полная площадь сечения  $A$ .

Подбор сечения нижнего растянутого пояса. Нижний пояс проектируем без применения сечения по всей длине. ГСП принимаем квадратного сечения и рассчитываем на усилие

$$N_{e-5} = 344,32 \text{ кН.}$$

Требуемая площадь сечения:

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c} = \frac{344,32}{24 \cdot 0,95} = 15,1 \text{ см}^2.$$

Принимаем профиль сечением Гн. □ 120х4

$$A=18,2 \text{ см}^2; i_x=4,71 \text{ см}; i_y=4,71 \text{ см.}$$

Проверяем условие:

$$\frac{D_b}{t} = \frac{120}{4} = 30 < 45.$$

Условие соблюдается.

Проверяем гибкость стержня:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{4,71} = 63,7 < [\lambda]_x = 400,$$
$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{750}{4,71} = 159,2 < [\lambda]_y = 400.$$

Проверка прочности сечения на растяжение:

$$\sigma = \frac{N_{e-5}}{A} = \frac{344,32}{18,2} = 18,92 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \gamma_c = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Прочность обеспечена.

Проверяем гибкость стенки:

$$\frac{h_{ef}}{t} = \frac{D_b - 4t}{t} = \frac{120 - 4 \cdot 5}{4} = 26 < \left[ \frac{h_{ef}}{t} \right] = 37,8.$$

Условие удовлетворяется.

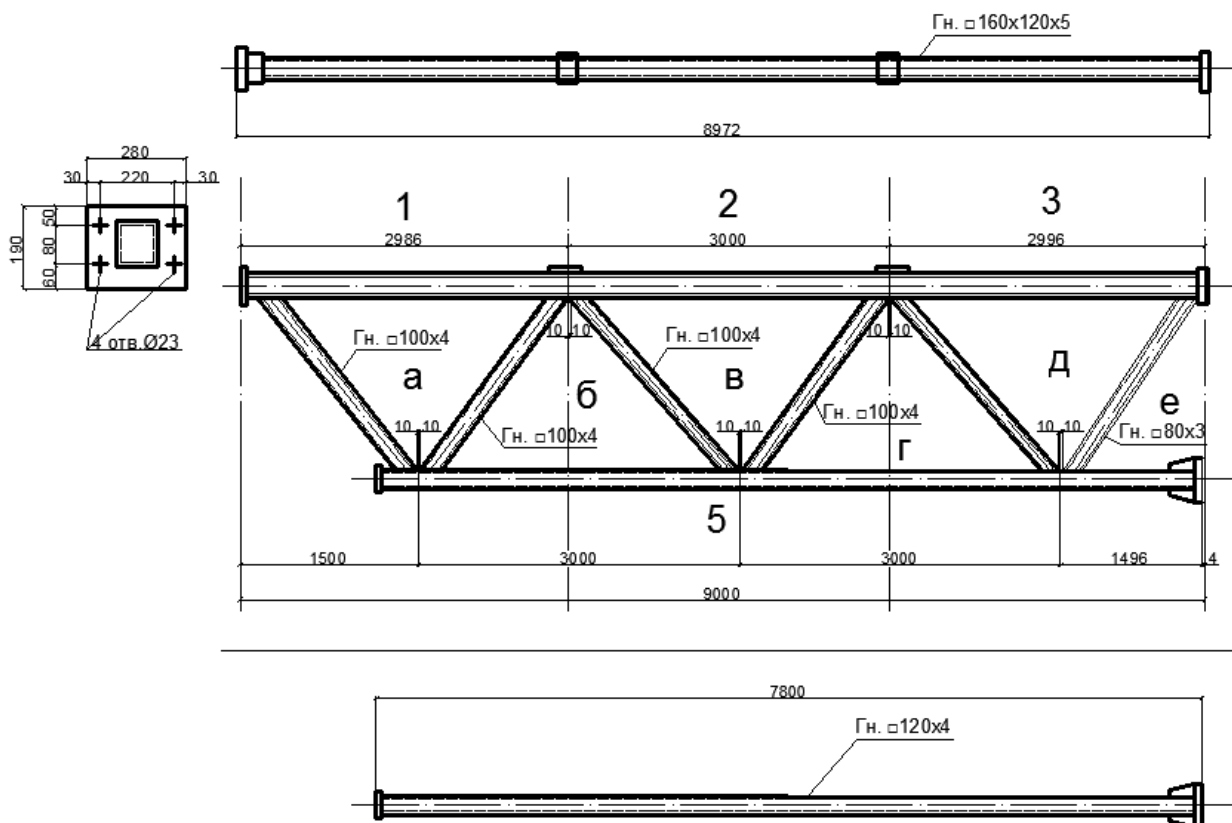


Рис. 8.1. Отправочный элемент фермы из ГСП

По результатам обследования выявлена коррозия верхнего и нижнего поясов стропильной фермы на 1 мм.

Поперечное сечение верхнего пояса Д-3 стало равным:

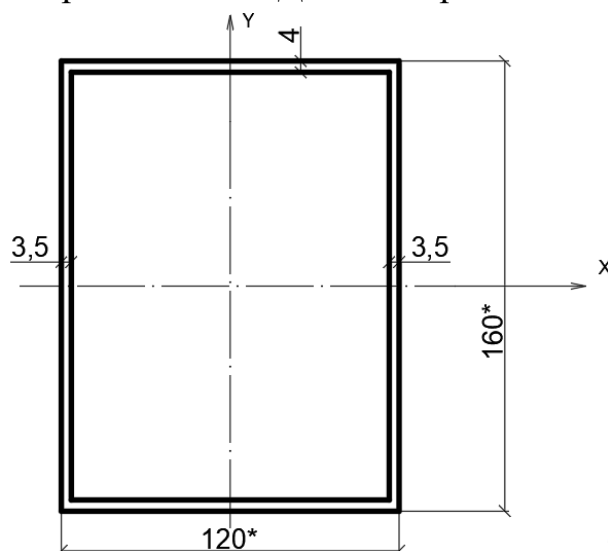


Рис. 8.2. Фактическое поперечное сечение поясов стропильной фермы после учета коррозии глубиной 1 мм

Площадь сечения поясов стропильной фермы после коррозии равна:

$$A_k = 2 \cdot (12,0 - 0,3) \cdot 0,4 + 2 \cdot (16,0 - 0,8) \cdot 0,35 = 20 \text{ см}^2.$$

Момент инерции сечения поясов стропильной фермы после коррозии равны:

$$J_x = \frac{2 \cdot 0,35 \cdot 15,2^3}{12} + 2 \cdot 11,7 \cdot 0,4 \cdot (7,7)^2 = 759,81 \text{ см}^4;$$

$$J_y = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 11,7^3}{12} + 2 \cdot 15,2 \cdot 0,35 \cdot (5,5)^2 = 428,63 \text{ см}^4.$$

Радиусы инерции сечения и гибкости поясов стропильной фермы после коррозии равны:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = 6,14 \text{ см.} \quad \lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{6,14} = 48,86;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = 4,66 \text{ см.} \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{300}{4,66} = 65,22.$$

Коэффициенты продольного изгиба сечения поясов стропильной фермы после коррозии равны:

$$\varphi_x = 0,844;$$

$$\varphi_y = 0,737.$$

Таким образом, проверим условие устойчивости:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y A} = \frac{408,67}{0,737 \cdot 20} = 27,725 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R_y = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Несущая способность стержня не обеспечена, требуется усиление.

Усиление стержня выполним из полосовой стали по каждой стороне стержня из стали С255 толщиной 3 мм.

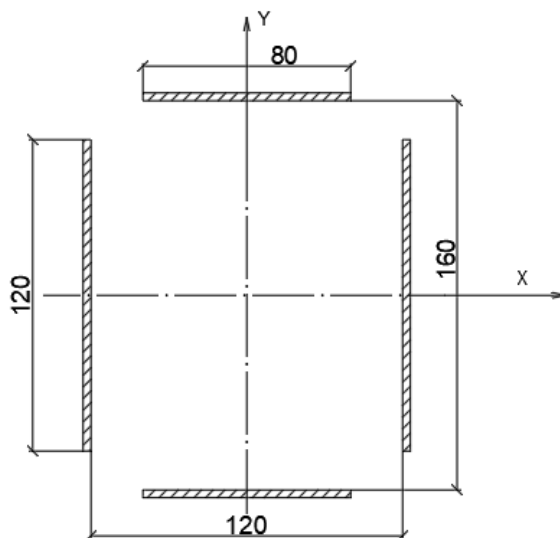


Рис. 8.3. Элементы из полосовой стали для усиления

Определим площадь усиливающих элементов фермы Д-3:

$$\Delta A = 2 \cdot (0,8 \cdot 0,3 + 12 \cdot 0,3) = 12 \text{ см}^2.$$

Определим моменты усиливающих элементов фермы Д-3:

$$\Delta J_x = 0,3 \cdot \frac{12^3}{12} + 2 \cdot 8 \cdot 0,3 \cdot 7,65^2 = 324,2 \text{ см}^4;$$

$$\Delta J_y = 2 \cdot 0,3 \cdot \frac{8^3}{12} + 2 \cdot 12 \cdot 0,3 \cdot 6,15^2 = 297,6 \text{ см}^4.$$

Определим суммарную площадь с учетом усиления фермы Д-3:

$$\Sigma A = A + \Delta A = 19,54 + 12 = 31,54 \text{ см}^2.$$

Определим радиусы инерции и гибкость с учетом усиления фермы Д-3:

$$\Sigma i_x = \sqrt{\frac{J_x + \Delta J_y}{\Sigma A}} = 5,8 \text{ см}, \quad \lambda_x = 51,7;$$

$$\Sigma i_y = \sqrt{\frac{J_y + \Delta J_x}{\Sigma A}} = 4,7 \text{ см}, \quad \lambda_y = 63,83;$$

Определим коэффициент продольного изгиба с учетом усиления:

$$\varphi_x = 0,82;$$

$$\varphi_y = 0,75.$$

Проверим условие устойчивости усиленного стержня по требованиям СНиП II-23-81\*:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y A} = \frac{408,67}{0,78 \cdot 31,54} = 16,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y = 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Устойчивость обеспечена.

Проверим условие устойчивости усиленного элемента фермы Д-3 по требованиям СП 16.13330:

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{408,67}{0,72 \cdot 31,54 \cdot 24 \cdot 0,95} = 0,79 < 1.$$

Значение коэффициента продольного изгиба усиленного элемента фермы Д-3:

$$\varphi = \frac{0,5(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \lambda^2})}{\bar{\lambda}^2} = 0,72,$$

где условная гибкость усиленного элемента фермы Д-3 равна:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 63,83 \sqrt{\frac{2400}{2,1 \cdot 10^6}} = 2,16;$$

$$\lambda_y = 63,83 \quad \bar{\lambda} = 2,16$$

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 15,5$$

$$\alpha = 0,03; \beta = 0,06.$$

Таким образом, устойчивость усиленного элемента фермы Д-3 обеспечена.

### 3.2. Поперечное сечение нижнего пояса е-5 стало равным:

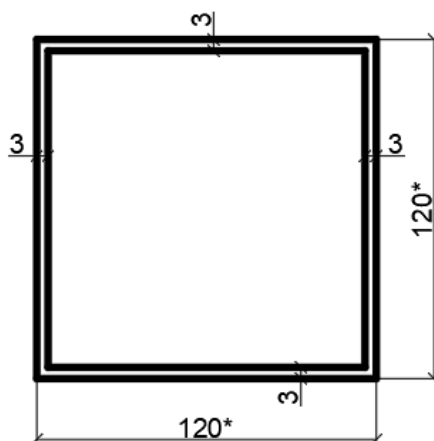


Рис. 8.4. Фактическое поперечное сечение нижнего пояса е-5 стропильной фермы

Площадь сечения нижнего пояса после учета коррозии:

$$A_n = 12 \times 4 \times 0,3 = 14,4 \text{ см}^2.$$

Условие прочности сечения нижнего пояса е-5 стропильной фермы:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} = \frac{344,32}{14,4 \cdot 24 \cdot 0,95} = 1,048 > 1,$$

где

$$\frac{R_u}{R_y} = \frac{36}{24} = 1,5 > 1,39.$$

$R_u=36$  кН расчетное сопротивление стали по временному сопротивлению,  $R_y=24$  кН расчетное сопротивление стали по пределу текучести.

Таким образом, несущая способность нижнего пояса е-5 стропильной фермы после коррозионного износа не обеспечена.

Поэтому сечение нижнего пояса необходимо усилить полосовой сталью 90x2(bxh) мм из стали класса прочности С240.



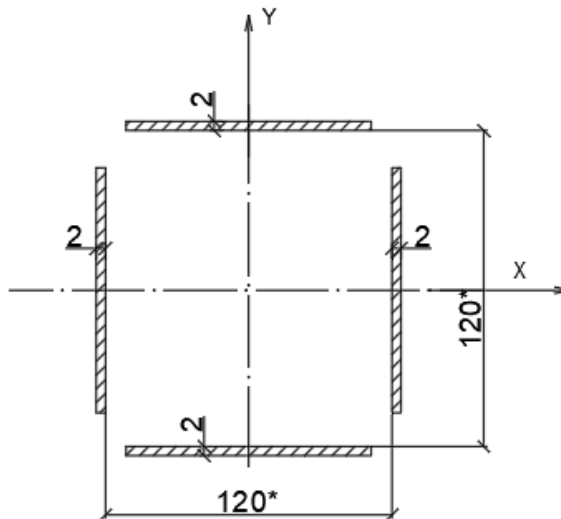


Рис. 8.5. Элементы из полосовой стали для усиления

Определяем площадь усиливающих элементов из полосовой стали:

$$\Delta A = 4 \times 9,0 \times 0,2 = 7,2 \text{ см}^2.$$

Выполняем проверку прочности усиленного нижнего пояса:

$$\frac{N}{AR_y \gamma_c} = \frac{344,32}{21,6 \cdot 24 \cdot 0,95} = 0,699 < 1,$$

где суммарная площадь усиленного элемента равна:

$$\Sigma A = A_n + \Delta A = 14,4 + 7,2 = 21,6 \text{ см}^2.$$

Таким образом, прочность сечения нижнего пояса с учетом усиления обеспечена.

### 3.3. Конструирование сварных швов

Проверим несущую способность сварных швов, прикрепляющих полосовую сталь к элементам фермы.

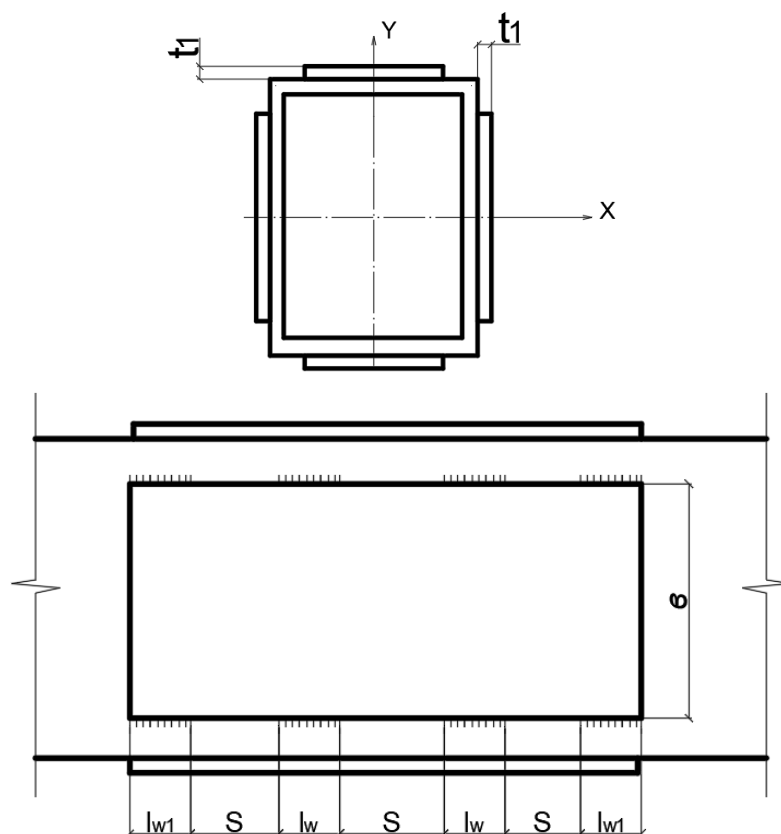


Рис. 8.6. К расчету сварных швов

При конструировании прерывистых сварных швов, согласно СП 16.13330.2016, необходимо учитывать следующие требования:

1. Расстояние  $e$  между участками сварных швов (рис. 8.6), как правило, не должно превышать одного из значений: 200 мм,  $12t_{\min}$  в сжатом элементе ( $t_{\min}$  – толщина самого тонкого из соединяемых элементов),  $16t_{\min}$  в растянутом элементе.

2. При наложении прерывистого шва следует предусматривать шов по концам соединяемых частей элементов; длина  $l_{w1}$  этого шва в элементах составного сечения из пластин должна быть не менее  $0,75b$ , где  $b$  - ширина более узкой из соединяемых пластин.

#### 4. Проверка прочности и усиления опорного узла фермы

В опорном узле фермы, при примыкании одного элемента, несущую способность стенки пояса при  $\frac{d}{D} \leq 0,9$  и  $\frac{g}{e} \leq 0,25$  проверяют по формуле:

$$\left(N + \frac{1,5M}{d_b}\right) \frac{\left(0,4 + \frac{1,8g}{b}\right) f \sin \alpha}{\gamma_c \gamma_d \gamma_D R_y t^2 (b + g + \sqrt{2Df})} \leq 1, \quad (8.1)$$

где  $\gamma_d$  – коэффициент влияния знака усилия в примыкающем элементе, принимаемый равным 1,2 при растяжении и 1 – в остальных случаях;  $\gamma_D$  – коэффициент влияния продольной силы в поясе, определяемый при сжатии в поясе, если  $|F|/(AR_y) > 0,5$ , по формуле:  $\gamma_D = 1,5 - |F|/(AR_y)$ , в остальных случаях  $\gamma_D=1,0$ ;  $b$  – длина участка линии пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса, равная  $d_b/\sin\alpha$ ;  $g$  – половина расстояния между смежными стенками соседних элементов решетки или поперечной стенкой раскоса и опорным ребром;

$$f = \frac{D - d}{2} = \frac{16 - 10}{2} = 3 \text{ см,}$$

$N$  – усилие в опорном раскосе;  $M = 0$  – изгибающий момент;  $R_y = 24$  кН – расчетное сопротивление стали по пределу текучести;  $\gamma_c = 0,95$ ;  $\gamma_d = 1,2$ .

Проверяем условие:

$$\frac{F}{AR_y} = \frac{184,34}{26,4 \cdot 24} = 0,29 < 0,5.$$

Следовательно,  $\gamma_D = 1$ , если при данных параметрах не выполняется условие (8.1), то усиливаем верхний пояс стальными листами толщиной 0,5 см длиной 20 см. В этом случае нужно принять  $t=0,5+0,5=1$  см и проверить условие (8.1).

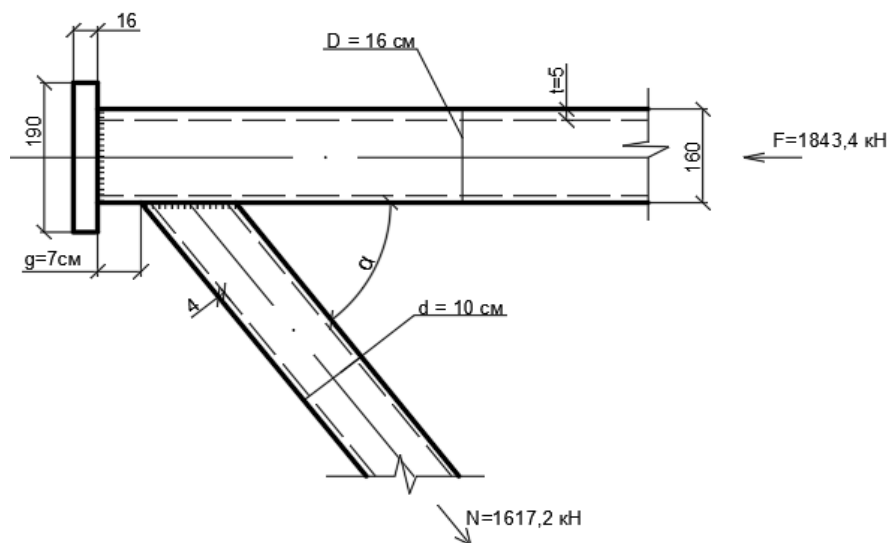


Рис. 8.7. Опорный узел стропильной фермы (исходные данные для расчета)

Поперечное сечение верхнего пояса выполнено гнутосварных труб  $\square 160 \times 120 \times 5$  мм ( $D=16$  см,  $t=0,5$  см,  $A=26,4$  см<sup>2</sup>), опорного раскоса –  $\square 100 \times 4$  мм ( $d=10$  см,  $t=0,4$  см), угол примыкания опорного раскоса к верхнему поясу равен  $\alpha = 51^\circ$ ; таким образом,  $\sin\alpha = 0,777$ ;

$$b = \frac{d}{\sin\alpha} = \frac{10}{0,777} = 12,87 \text{ см.}$$

## Занятие № 9

### РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ ИЗ УГОЛКОВ

В рассматриваемом задании использованы стальные уголки пролетом 24 метров. Фермы запроектированы и рассчитаны по существующей методике. Однако за длительный период эксплуатации пояса этих ферм получили коррозию. Величина этой коррозии определена в результате их обследований.

В данном примере приведены выполнение рамных расчетов фермы. Даны такие данные по параметрам коррозии поясов.

Выполнен расчет геометрических характеристик поясов с результатами их коррозии, сделан расчет несущей способности, а также даны схемы усиления этих поясов.

#### 1. Исходные данные

Пролет фермы – 24 м. Шаг ферм – 6,0 м. Очертание решетки – ферма с параллельными поясами высотой по обухам уголков 3150 мм. Опираение на колонны шарнирное. Уклон верхнего пояса 1,5%. Здание отапливаемое. Кровля рубероидная, четырехслойная с защитным слоем из гравия, втопленного в битумную мастику. Покрытие утепленное, утеплитель – плиты из ячеистого бетона. Покрытие из сборных железобетонных ребристых плит размером 6х3 м. Место строительства – г. Пенза. Класс ответственности здания – II. Материал конструкций: уголки – сталь С245, фасонки – сталь С255 по ГОСТ 27772-2015.

Сварка полуавтоматическая под флюсом варочной проволокой марки СВ-08А (ГОСТ 2246-70\*) диаметром  $d=2$  мм. На монтаже применяется ручная сварка электродами Э42 по ГОСТ 9467-75\*. Болты нормальной точности класса 5.6. Фермы не подвержены непосредственно динамическим нагрузкам.

#### 2. Статический расчет фермы

Для определения расчетных усилий в стержнях фермы предварительно выполняем сбор нагрузок.

Снеговая нагрузка для г. Пензы в соответствии с (СП 20.13330), для III снегового района:

$$S_0=10 \text{ кН/м}^2.$$

Нормативное значение снеговой нагрузки составит

$$S = S_0\mu = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кН/м}^2,$$

где  $\mu=1$  при уклоне кровли менее  $25^\circ$  [СП 20.13330.2016, приложение Б1].

Расчетная снеговая нагрузка на единицу длины фермы

$$P_s = SB\gamma_f\gamma_n = 10 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 0,95 = 79,8 \text{ кН/м.}$$

Расчетная узловая сила на ферму:

– от постоянной нагрузки

$$P_n = q_n d = 208,1 \cdot 3 = 624,3 \text{ кН;}$$

– от снеговой нагрузки

$$P_n = p_s d = 79,8 \cdot 3 = 239,4 \text{ кН.}$$

Величина усилий в стержнях формы при данной нагрузке и подобранные их сечения приведены в таблице.

Элементы фермы	Обозначение стержня	Усилия от единичной нагрузки P=1 кН			Усилие от постоянной нагрузки Pn = 624,3 кН	Усилие от снеговой нагрузки Pn = 239,4 кН			Расчетные усилия, кН	
		слева	справа	с двух сторон		слева	справа	с двух сторон	сжатие	растяжение
Верхний пояс	а-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	в-3,г-4	-0,39	-0,19	-0,58	-362,1	-93,37	-45,49	-138,85	-500,95	–
	е-5	-0,39	-0,39	-0,78	-418,66	-93,37	-93,37	-186,74	-673,70	–
Нижний пояс	б-6	0,22	0,09	0,31	193,53	52,67	52,67	74,22	–	267,75
	д-7	0,44	0,29	0,73	455,74	105,34	105,34	174,77	–	630,51
Раскосы	а-б	-0,34	-0,13	-0,47	-293,42	-81,4	-31,12	-112,52	-405,94	–
	б-в	0,23	0,14	0,37	230,99	55,06	33,52	88,58	–	319,57
	г-д	-0,08	-0,14	-0,22	-137,35	-19,15	-33,52	-52,67	-190,02	–
	д-е	-0,08	0,14	0,06	37,46	-19,15	33,52	14,37	–	70,98
Стойки	в-г	-0,1	0	-0,1	-62,43	-23,94	-33,52	-23,94	-86,37	–
	е-е'	-0,05	-0,05	-0,1	-62,43	-11,97	-11,97	-23,94	-86,37	–

Элементы фермы	Обозначение стержня	Расчетное усилие N, кН	Наименование стали по ГОСТ 27772-2015	Сечение	Площадь A, см <sup>2</sup>	Расчетная длина, см		Радиус инерции, см		Гибкость		Предельная гибкость		Φ <sub>min</sub>	γ <sub>c</sub>	Проверка сечений, кН	
						<i>l<sub>ef,x</sub></i>	<i>l<sub>ef,y</sub></i>	<i>i<sub>x</sub></i>	<i>i<sub>y</sub></i>	λ <sub>x</sub>	λ <sub>y</sub>	[λ] <sub>x</sub>	[λ] <sub>y</sub>			Прочности $\frac{N}{A} \leq R_y \gamma_c$ кН	Устойчивости $\frac{N}{\phi A} \leq R_y \gamma_c$ кН
Верхний пояс	а-2	0	С245	ГГ 125x9	44	280	280	3,86	5,56	72,6	50,4	–	–	–	0,95	–	–
	в-3	-500,95				300	300	3,86	5,56	77,7	54	137,2	143,9	0,7	0,95	–	16,27<22,8
	г-4 е-5	-673,7				300	300	3,86	5,56	77,7	54	122,4	131,5	0,7	0,95	–	21,87<22,8
Нижний пояс	б-б	267,75	С245	ГГ 63x5 ГГ 90x8	12,26	580	580	1,94	3,04	299	190,8	400	400	–	0,95	218,4<228	–
	д-7	630,51			27,8	600	1200	2,76	4,16	217,4	288,5	400	400	–	0,95	226,8<228	–
Раскосы	а-б	-405,94	С245	ГГ 100x8 ГГ 70x6 ГГ 90x8 ГГ 63x5	31	205	410	3,07	4,62	66,8	89	165	154,2	0,62	0,95	–	21,12<22,8
	б-в	319,57			16,3	345	431	2,15	3,07	160,5	129,4	400	400	–	0,95	196,1<228	–
	г-д	-190,02			27,8	345	431	2,15	2,15	125	103,6	155,3	167,3	0,39	0,8	–	17,53<19,2
	д-е	70,98			12,26	345	431	1,94	2,76	177,8	141,8	400	400	–	0,95	57,8<228	–
Стойки	в-г	-86,37	С245	ГГ 63x5 ГГ 63x5	12,26	248	310	1,94	1,94	127,8	102	174,6	180	0,38	0,8	–	18,54<19,2
	е-е`	-86,37			12,26	248	310	1,94	1,94	127,8	102	174,6	180	0,38	0,8	–	18,54<19,2

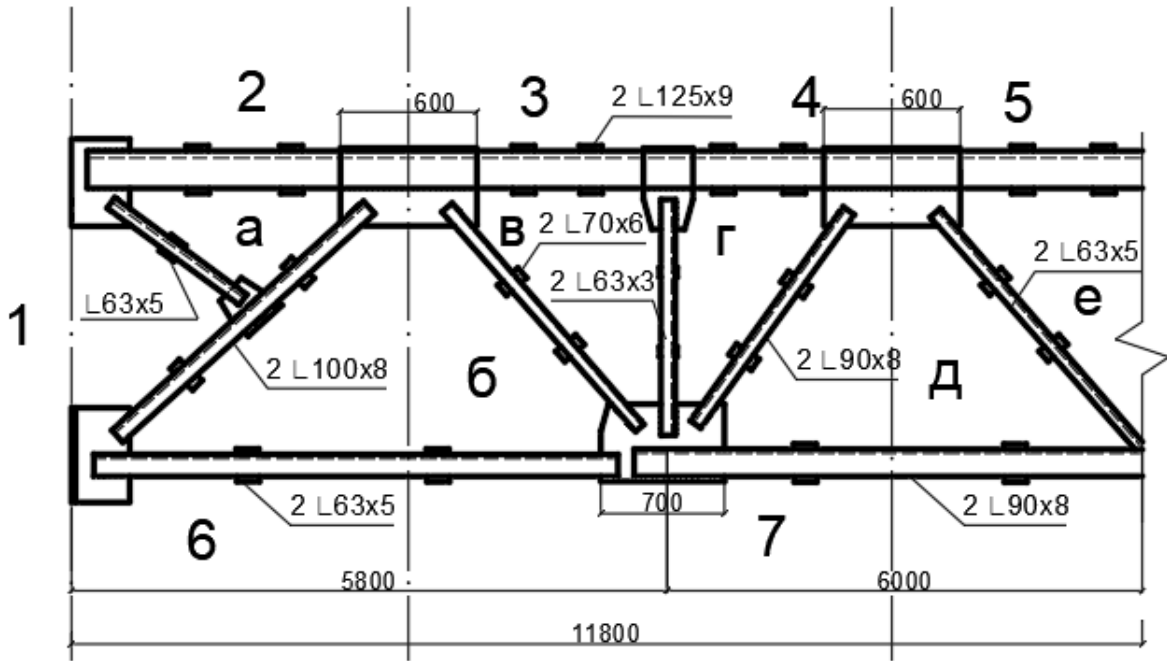


Рис. 9.1. Отправочный элемент фермы Ф-1 из симметричных уголков

### 3. Подбор сечений стержней фермы

Принимаем толщину фасонок  $t_{\phi}=12$  мм.

#### 3.1. Подбор сечения стержней верхнего пояса

Верхний пояс принимаем без изменения сечения по всей длине и рассчитываем его на максимальное усилие –  $N_{e-5} = -673,7$  кН.

Задаемся гибкостью –  $\lambda = 90$ , по [п.10.4 табл. 32 СП 16.13330].

Коэффициент продольного изгиба  $\varphi=0,612$  [приложение Д СП 16.13330].

Требуемая площадь сечения:

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{673,7}{0,612 \cdot 24 \cdot 0,95} = 48,3 \text{ см}^2.$$

Принимаем  $2\text{L} 125 \times 9$   $A=44,0 \text{ см}^2$ ,  $i_y=3,86 \text{ см}$ ,  $i_x=5,56 \text{ см}$ .

Гибкости стержня:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{3,86} = 77,7 < [\lambda]_x = 122,4.$$

Коэффициент продольного изгиба в плоскости оси x:

$$\varphi_x = \varphi_{min} = 0,70.$$

Гибкости стержня:

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{300}{5,56} = 54 < [\lambda]_y = 131,5.$$

Коэффициент продольного изгиба в плоскости оси y:

$$\varphi_y = 0,83.$$

Предельные гибкости:

$$a_x = \frac{N}{\varphi_x AR_y \gamma_c} = \frac{673,7}{0,7 \cdot 44 \cdot 24 \cdot 0,95} = 0,96;$$

$$[\lambda]_x = 180 - 60a_x = 180 - 60 \cdot 0,96 = 122,4;$$

$$a_y = \frac{N}{\varphi_y AR_y \gamma_c} = \frac{408,67}{0,79 \cdot 26,4 \cdot 24 \cdot 1} = 0,82;$$

$$[\lambda]_y = 180 - 60a_y = 180 - 60 \cdot 0,81 = 131,5.$$

Проверка устойчивости стержня:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} = \frac{673,7}{0,7 \cdot 44} = 21,87 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \gamma_c = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Устойчивость обеспечена.

### 3.2. Подбор сечения нижнего пояса

Нижний пояс проектируем с изменением сечения по длине.

Стержень д-7

Расчетное усилие  $N_{д-7} = 630,51$  кН.

Требуемая площадь сечения:

$$A_{тр} = \frac{N_{д-7}}{R_y \gamma_c} = \frac{630,51}{24 \cdot 0,95} = 27,7 \text{ см}^2.$$

Требуемые радиусы инерции:



$$i_{x,тр} = \frac{l_{ef,x}}{[\lambda]} = \frac{600}{400} = 1,5 \text{ см};$$

$$i_{y,тр} = \frac{l_{ef,y}}{[\lambda]} = \frac{1200}{400} = 3 \text{ см.}$$

Принимаем  $2 \perp 90 \times 8$ ,  $A=27,8 \text{ см}^2$ ,  $i_x=2,76 \text{ см}$ ,  $i_y=4,16 \text{ см}$ .

Гибкости стержня д-7:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{600}{2,76} = 217,4 < [\lambda] = 400;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{1200}{4,16} = 288,5 < [\lambda] = 400.$$

Проверяем прочность:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{630,51}{27,8} = 22,68 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_y \gamma_c = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Условие не выполняется.

Стержень б-6

Расчетное усилие  $N_{б-6} = 267,75 \text{ кН}$ .

Требуемая площадь сечения:

$$A_{тр} = \frac{N_{б-6}}{R_y \gamma_c} = \frac{267,71}{24 \cdot 0,95} = 11,8 \text{ см}^2.$$

Принимаем  $2 \perp 63 \times 5$ ,  $A=12,26 \text{ см}^2$ ,  $i_x=1,94 \text{ см}$ ,  $i_y=3,04 \text{ см}$ .

Гибкости стержня б-6:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{580}{1,94} = 299 < [\lambda]_x = 400;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{580}{3,04} = 190,8 < [\lambda]_y = 400.$$

Гибкость меньше предельной.

Подбор сечений сжатых раскосов и стоек производится по методике подбора сечений сжатых верхних поясов ферм, растянутых раскосов – по методике подбора сечений растянутых поясов ферм.

#### 4. Расчет сварных швов прикрепления решетки фермы к верхнему и нижнему поясам

Для присоединения стержней применяется полуавтоматическая сварка под флюсом проволокой СВ-08А d=2 мм (ГОСТ 2246-70\*). Коэффициенты и расчетные сопротивления, принимаемые при расчете по металлу шва:

$$\beta_f = 0,9; \gamma_{\omega f} = 1; R_{\omega f} = 180 \text{ МПа [28, табл. 56*];}$$

$$\beta_f \gamma_{\omega f} R_{\omega f} = 0,9 \cdot 1 \cdot 180 = 162 \text{ МПа.}$$

При расчете по металлу границы сплавления:

$$\beta_z = 1,05; \gamma_{\omega z} = 1; R_{\omega z} = 0,45 R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166,5 \text{ МПа}$$

$$\text{где } R_{un} = 370 \text{ МПа [28, табл. 56*];}$$

$$\beta_f \gamma_{\omega f} R_{\omega f} = 162 \text{ МПа} < \beta_z \gamma_{\omega z} R_{\omega z} = 174,8 \text{ МПа.}$$

Несущая способность сварных швов определяется прочностью металла сварного шва и вычисляется по формуле:

$$l_{\omega} = \frac{N_{об(п)}}{n K_f \beta_f \gamma_{\omega f} R_{\omega f} \gamma_c} + a,$$

где n – количество швов (n=2);

a – длина шва на непровар (a=1–2 см);

$K_f$  – катет сварного шва;

$N_{об(п)}$  – усилия действующие на обушок  $N_{об}$  и перо  $N_{п}$ , которые определяются из выражений:

$$N_{п} = N \left( \frac{b - z_0}{b} \right), \quad N_{об} = N = \frac{z_0}{b},$$

где N – расчетное усилие, действующее в элементе;

b – ширина нахлестываемой на листовую фасонку полки уголков;

$z_0$  – расстояние от обушка до центра тяжести уголка в направлении, параллельно листовой фасонке;

Таблица 9.2

#### Расчет швов

Номер стержня	Сечение	[N], кН	Шов по обушку			Шов по перу		
			$N_{об}$ кН	$K_f$ мм	$l_{\omega}$ см	$N_{п}$ кН	$K_f$ мм	$l_{\omega}$ см
б-б	ГГ 63x5	267,75	187,43	6	11	80,33	4	8
а-б	ГГ 100x8	405,94	284,16	8	12	121,78	6	8
б-в	ГГ 70x6	319,57	223,7	6	13	95,87	4	9
г-д	ГГ 90x8	190,08	133,06	8	7	57,02	6	6
д-е	ГГ 63x5	70,98	49,69	4	6	21,29	4	6
	ГГ 63x5	86,37	60,46	4	6	25,91	4	6

После длительной эксплуатации проведено обследование и выявлена коррозия элементов фермы на глубину 1 мм. По фактическим размерам поперечных сечений требуется выполнить поверочный расчет и усиление (при необходимости). Фактическое поперечное сечение верхнего пояса фермы изображено на рис. 9.2.

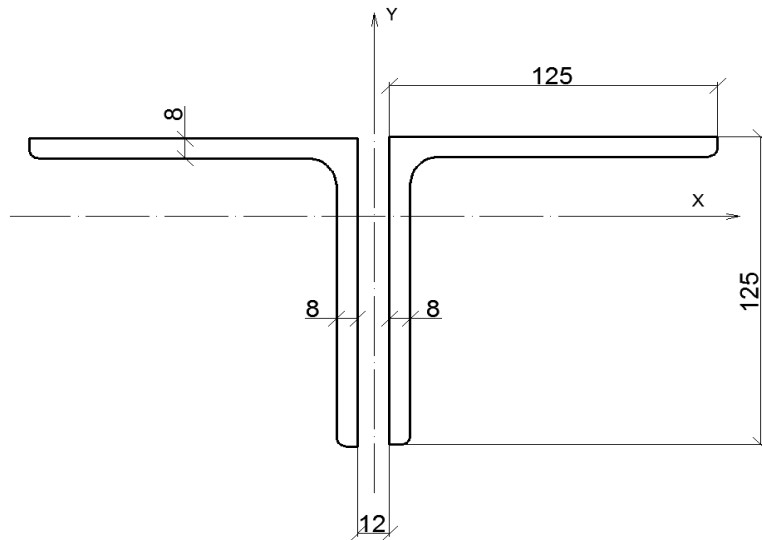


Рис. 9.2. Фактическое поперечное сечение верхнего пояса стропильной фермы

Площадь сечения верхнего пояса стропильной фермы:

$$A_k = \frac{0,8 \cdot 11,7 + 12,5 \cdot 0,8}{2} = 38,72 \text{ см}^2.$$

Моменты инерции сечения верхнего пояса стропильной фермы:

$$J_x = 587 \text{ см}^4;$$

$$J_y = 1226,8 \text{ см}^4.$$

Определим радиусы инерции и гибкость сечения верхнего пояса стропильной фермы:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = 3,87 \text{ см}; \quad \lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{300}{3,87} = 77,5;$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} = 5,53 \text{ см}; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{300}{5,53} = 54,25.$$

Определим коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi_{min} = \varphi_x = 0,7.$$

Проверим условие устойчивости:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_k} = \frac{673,7}{0,7 \cdot 38,72} = 24,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R_y \gamma_c = 24 \cdot 0,95 = 22,8 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Устойчивость не обеспечена.

Усиление поясов выполняем установкой листов сечением 80x5 мм.

Площадь этих листов  $A_y = 2 \cdot 8 \cdot 0,5 = 8 \text{ см}^2$ .

Общая площадь верхнего пояса  $A = A_k + A_y = 38,72 + 8 = 46,72 \text{ см}^2$ .

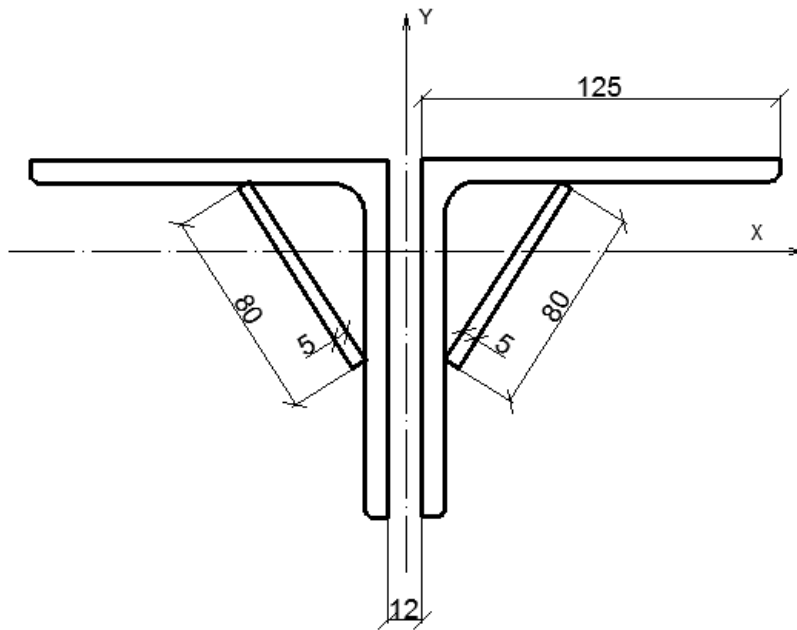


Рис. 9.3. Усиление верхнего пояса полосовой сталью

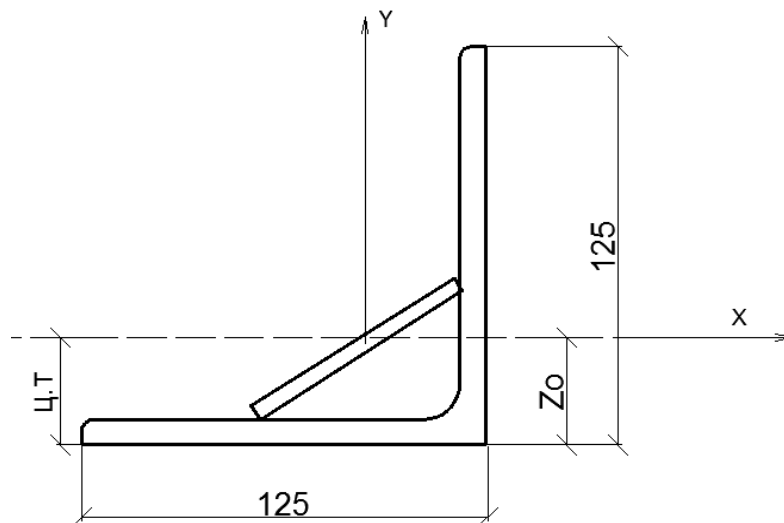


Рис. 9.4. Фрагмент усиленного верхнего пояса

Для уголка

$$A = 19,7 \text{ см}^2;$$

$$Z_0 = 3,36 \text{ см.}$$

Усиление уголка

$$A_y = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ см}^2;$$

$$Z_y = 4,12 \text{ см.}$$

Координаты центра тяжести:

$$X_{\text{цт}} = \frac{A \cdot Z_0 + A_y \cdot Z_y}{\sum A} = \frac{19,7 \cdot 3,36 + 4 \cdot 4,12}{19,7 + 14,14} = 3,47 \text{ см.}$$

Определяем момент инерции усиленного сечения:

$$J_{xy} = J_x + A_x(3,47 - 3,36)^2 + J_y + A_y(4,12 - 3,47)^2 = 388,2 \text{ см}^4$$

Определяем радиусы инерции и гибкость усиленного сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{\sum A}} = 4,05 \text{ см.} \quad \lambda_x = \frac{l}{i_x} = \frac{300}{4,05} = 74,07;$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 74,07 \sqrt{\frac{2400}{2,1 \cdot 10^6}} = 2,5.$$

Тип устойчивости С  $\alpha=0,04$   $\beta=0,14$

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \cdot 2,5) + 2,5^2 = 19,18$$

$$\varphi = 0,5 \frac{\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}^2}}{\bar{\lambda}^2} = 0,5 \frac{19,18 - 11}{6,25} = 0,704,$$

где  $\sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}^2} = 11.$

Определяем напряжение в усиленном сечении:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{673,7}{0,704 \cdot 48,72 \cdot 24 \cdot 0,95} = 0,861 < 1.$$

Устойчивость обеспечена.

Крепление усиливающего элемента выполняем на сварке длиной 3 м.

Привязку этого элемента выполняем по данным.

### Усиление нижнего пояса стержня (д-7)

Усилие  $N=630,51$  кН

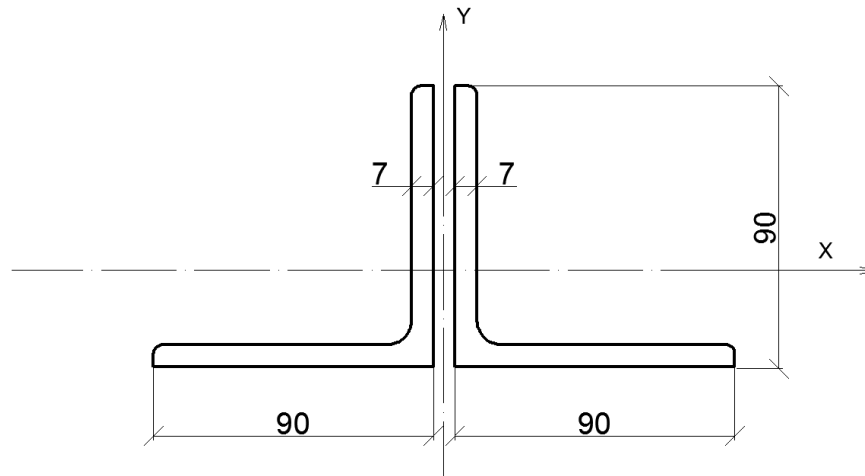


Рис. 9.5. Фактическое поперечное сечение нижнего пояса стропильной фермы

Площадь сечения уголков после коррозии:

$$A = 2 [9 \cdot 0,7 + 8,3 \cdot 0,7] = 24,22 \text{ см}^2.$$

Проверяем прочность:

$$\sigma = \frac{N}{A_k \gamma_c} = \frac{630,51}{0,95 \cdot 24,22} = 27,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > 24 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Прочность обеспечена.

Нижний пояс усилим следующим образом

Усиление пояса 80x5 мм.

Площадь усиления из двух листов:

$$A_y = 2 (8 \cdot 0,5) = 8 \text{ см}^2.$$

Площадь усиления уголка:

$$A_k = A + A_k = 24,88 + 8 = 32,22 \text{ см}^2.$$

Проверяем прочность:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} = \frac{630,51}{32,22 \cdot 24 \cdot 0,95} = 0,85 < 1.$$

Прочность обеспечена.

### Усиление сквозного узлового соединения (а-б)

Усиление, действующее на узловое соединение

$$N = 405,94 \text{ кН}.$$

Это усиление воспринимается

– пером  $N_{\text{п}} = 121,7$  кН;

– обушком  $N_{\text{об}} = 284,16$  кН.

Это усиление приведено в таблице.

В данной таблице приведены катеты шва, а также длина сварного шва.

Обследование фермы показало, что катет шва

- на пере  $K_f = 5$  мм;
- на обушке  $K_f = 7$  мм.

Длина швов – 8 см.

Длина шва обушка по металлу шва:

$$l_{об} = \frac{N}{nK_f\beta_f\gamma_{\omega f}R_{\omega f}\gamma_c} + a = \frac{284,16}{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 0,95} + 2 = 15 > 12 \text{ см},$$

где  $\beta_f\gamma_{\omega f}R_{\omega f} = 16$  кН.

Прочность сварного шва не обеспечена.

Увеличиваем длину сварного шва путем увеличения размера фасонки.

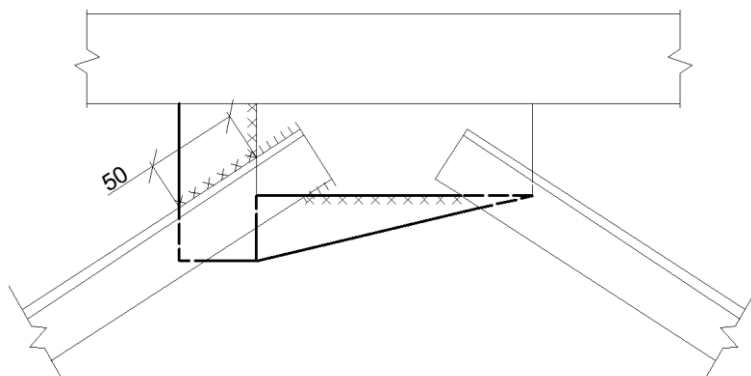


Рис. 9.6. Фрагмент сквозного узлового соединения

Прочность сварного шва по металлу шва по обушке изменяется и составляет 17 см и катет шва при этом равен 0,7 см. Проверяем прочность сварного шва:

$$\sigma = \frac{N}{nK_f\beta_f\gamma_{\omega f}\gamma_c l} + a = \frac{284,16}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 17} = 14 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{\omega f} = 18 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Прочность сварного шва обеспечена.

## Список литературы

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2017. – 171 с.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – М.: Министерство регионального развития РФ, 2016. – 80 с.
3. Кудишин Ю.И. Металлические конструкции: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева. – М.: ИЦ Академия, 2011. - 688 с.
4. Металлические конструкции. Конструкции зданий. Т. 1–3 / под ред. В.В. Горева. – М.: Высшая школа, 1999.
5. Металлические конструкции / под общ. ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1975. – 424 с.
6. Расчет стальных конструкций при их обследовании и усилении: учебно-методическое пособие / П.С. Иванов, А.А. Югов. – М: Издательство ТГАСУ, 2016. – 69 с.



## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Индивидуальное задание к занятию № 1 «Поверочный расчет ослабленного элемента при действии продольной силы с изгибом»

№ п/п	Сечение элемента	Предел текучести, МПа	Год строительства	Площадь ослабления	$y^{осл}$ , см	$M_x$ , кН·м	N, кН
1	Двутавр №20	245	1995	2,5	8,75	87	300
2	Двутавр №25	200	1931	2,7	11,2	95	312
3	Двутавр №35	280	1965	2,9	16,1	115	423
4	Двутавр №40	290	2001	3,1	18,5	136	420
5	Двутавр №45	170	1925	3,9	20,5	155	470
6	Двутавр №50	260	1949	6,2	21,9	160	500
7	Двутавр №55	310	1985	6,9	24,1	180	500
8	Двутавр №60	230	1998	7,3	26,4	175	510
9	Двутавр №70	280	2005	8,1	31,0	87	300
10	Швеллер №20	380	1995	2,5	8,7	95	312
11	Швеллер №22	200	1931	2,7	9,6	115	423
12	Швеллер №24	280	1965	2,9	10,5	136	420
13	Швеллер №27	380	2001	3,1	11,9	155	470
14	Швеллер №30	170	1925	3,9	13,1	160	500
15	Швеллер №33	260	1949	6,2	13,4	180	500
16	Швеллер №36	310	1985	6,9	14,5	175	510

17	Швеллер №40	230	1998	7,3	16,4	87	300
18	Швеллер №30Ш	280	2005	4,1	13,0	95	312
19	Швеллер №40Ш	245	1995	4,5	17,8	115	423
20	Швеллер №45Ш	200	1931	5,7	19,7	136	420

**Индивидуальное задание к занятию № 2**  
**«Поверочный расчет искривленной стойки»**

№ п/п	Сечение элемента	Предел текучести, МПа	Расчетная длина элемента, см	Искривление стойки, см	Глубина коррозии, м	Нагрузка по обмерам кН
1	Двутавр №40К2	345	800	6,5	2,0	1500
2	Двутавр №35К1	280	750	4,7	3,0	1600
3	Двутавр №30К1	280	590	2,9	1,6	700
4	Двутавр №25К3	220	730	3,1	2,8	750
5	Двутавр №20К1	196	550	3,9	2,2	650
6	Двутавр №70Б	340	930	6,2	2,8	1500
7	Двутавр №50Б	210	860	6,9	3,0	750
8	Двутавр №55Б	330	940	7,3	2,0	1700
9	Двутавр №30Б2	480	800	2,1	3,0	1600
10	Двутавр №18Б2	170	410	2,5	1,6	1300
11	Двутавр №25Б1	300	490	2,7	2,8	350
12	Двутавр №40Б2	280	730	2,9	2,2	1000
13	Двутавр №45Б1	150	550	3,1	2,8	1600
14	Двутавр №60Б2	250	930	3,9	3,0	2200

15	Двутавр №30Ш	280	860	4,2	2,0	700
16	Двутавр №40Ш	220	940	3,9	3,0	1500
17	Двутавр №45Ш	196	800	5,3	1,6	2000
18	Двутавр №30К1	340	750	4,1	2,8	1700
19	Двутавр №40К2	210	590	4,5	2,2	1450
20	Двутавр №40К5	330	730	5,7	2,8	1650

**Индивидуальное задание к занятию № 3**  
**«Поверочный расчет раскоса фермы с погибью»**

№ п/п	Сечение элемента	Длина элемента, см	Искривление $f_{из,х}$ см	Искривление $f_{из,у}$ см	Локальная погибь полки $l_{м}$ см	Локальная погибь полки $l_{ом}$ см	Предел текучести, Мпа	N, кН
1	2L50x5	325	2,3	-1,7	18,75	2,9	245	105
2	2L63x6	373	2,9	-1,5	11,2	3,2	180	120
3	2L75x5	402	3,1	-2,0	16,1	3,4	200	95
4	2L80x8	453	2,9	-1,22	18,5	3,6	290	115
5	2L40x4	225	1,4	-1,05	20,5	2,9	170	105
6	2L56x4	305	1,85	-1,6	21,9	3,2	250	120
7	2L35x3	190	1,9	-1,1	24,1	3,4	210	95
8	2L50x8	336	2,3	-1,7	26,4	3,6	230	115
9	2L50x5	325	2,9	-1,5	31,0	2,9	180	105
10	2L63x6	373	3,1	-2,0	8,7	3,2	280	120
11	2L75x5	402	2,9	-1,22	9,6	3,4	200	95
12	2L80x8	453	1,4	-1,05	10,5	3,6	280	115
13	2L63x4	225	1,85	-1,6	11,9	2,9	180	105
14	2L56x4	305	1,9	-1,1	13,1	3,2	170	120
15	2L35x3	190	2,3	-1,7	13,4	3,4	260	95
16	2L50x8	336	2,9	-1,5	14,5	3,6	240	115
17	2L50x5	325	3,1	-2,0	16,4	2,9	230	105
18	2L63x6	373	2,9	-1,22	13,0	3,2	250	120
19	2L75x5	402	1,4	-1,05	17,8	3,4	245	95
20	2L80x8	453	1,85	-1,6	19,7	3,6	200	115

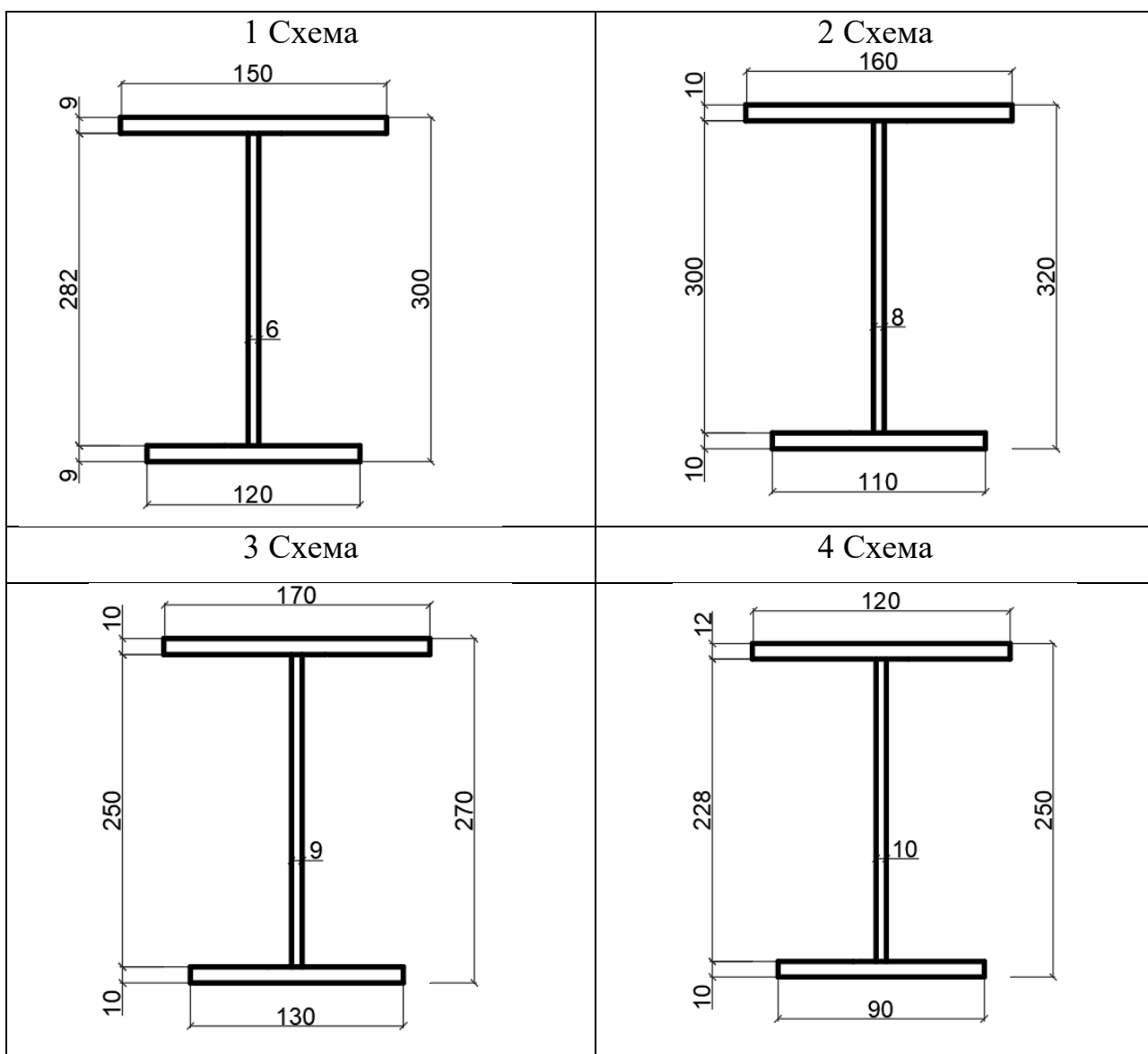
**Индивидуальное задание к занятию № 4**  
**«Усиление изгибаемого элемента»**

№ п/п	Пролет траверсы, м	Сталь класса прочности	Профиль
1	8	C245	200x120x5
2	6	C255	220x100x6
3	5	C275	200x80x7
4	10	C345	180x100x7
5	11	C375	160x120x6
6	9	C285	200x100x5
7	8	C235	220x140x5
8	12	C245	180x80x7
9	6	C255	160x140x6
10	5	C275	180x140x7
11	7	C345	200x120x5
12	9	C375	220x100x6
13	12	C285	200x80x7
14	10	C235	180x100x7
15	11	C245	160x120x6
16	6	C255	200x100x5
17	7	C275	220x140x5
18	8	C345	180x80x7
19	9	C375	160x140x6
20	10	C285	180x140x7

**Индивидуальное задание к занятию № 5**  
**«Расчет усиления по критерию краевой текучести»**

№ п/п	Номер схемы	$R_{yo}$ кН/см <sup>2</sup>	$R_{yr}$ кН/см <sup>2</sup>	$M_0$ кН·м	$\Delta M$ кН·м
1	1	23	20	75	40
2	2	40	30	800	30
3	3	18	16	50	60
4	4	25	20	150	45
5	1	30	27	110	20
6	2	27	25	85	65
7	3	48	40	650	30
8	4	21	19	75	40
9	1	23	20	100	30
10	2	40	30	50	60
11	3	18	16	150	45

12	4	25	20	110	20
13	1	30	27	85	65
14	2	27	25	65	30
15	3	48	40	75	40
16	4	21	19	100	30
17	1	23	20	50	60
18	2	40	30	150	45
19	3	18	16	110	20
20	4	25	20	85	65

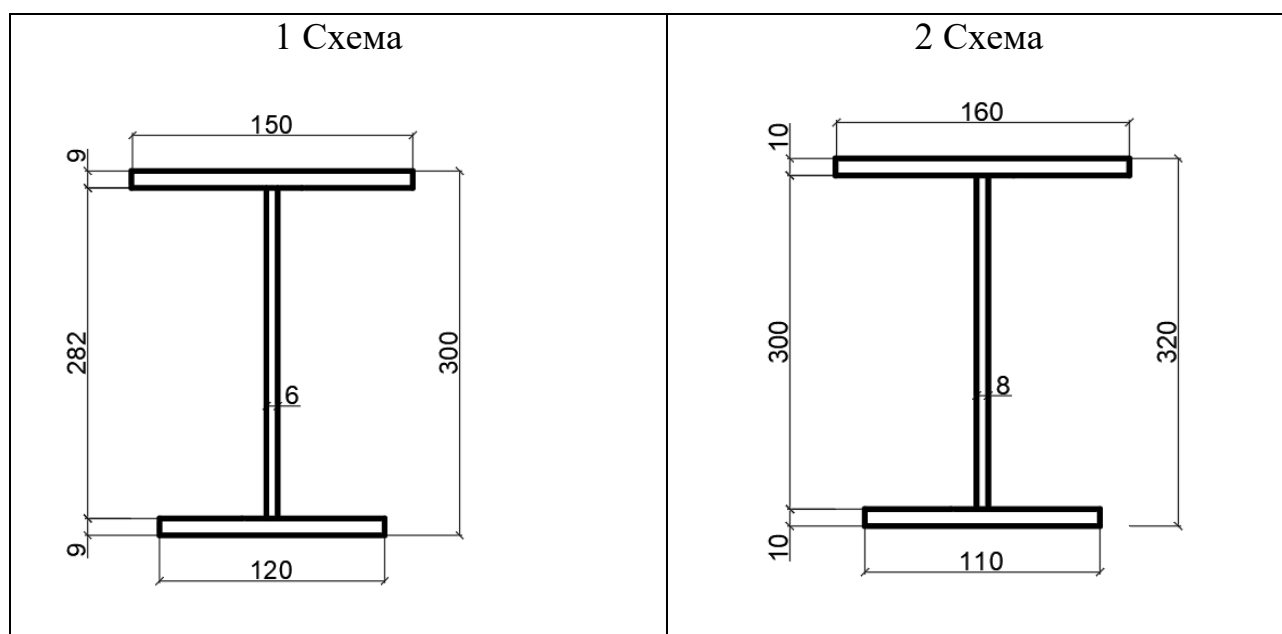


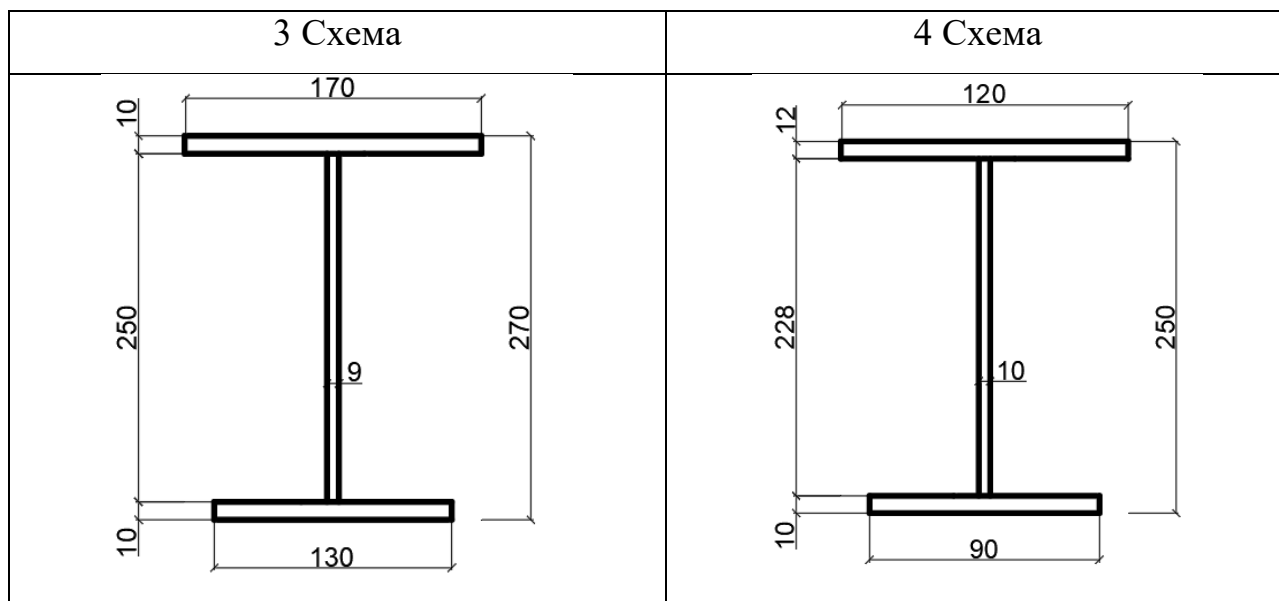
**Индивидуальное задание к занятию № 6**  
**«Расчет усиления центрально-сжатой стойки из расчета**  
**на устойчивость»**

№ П/П	Высота стойки, м	Расчетная сжимающая сила, $N_0$ , кН	Усиление от дополнительной нагрузки, $\Delta N$ , кН	$R_{yo}$ $\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	$R_{yr}$ $\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	Сечение Элементов
1	6	700	300	23	20	Швеллер №20
2	7	600	312	40	30	Швеллер №18
3	8	800	423	18	16	Швеллер №24
4	9	500	420	25	20	Швеллер №27
5	10	600	470	30	27	Швеллер №30
6	6	700	500	27	25	Швеллер №16
7	7	800	900	48	40	Швеллер №24
8	8	400	250	21	19	Швеллер №22
9	9	750	300	23	20	Швеллер №27
10	10	850	312	40	30	Швеллер №20
11	6	800	423	18	16	Швеллер №22
12	7	700	420	25	20	Швеллер №24
13	8	650	470	30	27	Швеллер №27
14	9	550	600	27	25	Швеллер №30
15	10	600	500	48	40	Швеллер №33
16	6	850	510	21	19	Швеллер №36
17	7	1700	500	23	20	Швеллер №40
18	8	750	812	40	30	Швеллер №24
19	9	650	423	18	16	Швеллер №27
20	10	500	420	25	20	Швеллер №30

**Индивидуальное задание к занятию № 7**  
**«Расчет прогиба усиленной балки с учетом остаточного прогиба»**

№ п/п	Расчетная длина балки, м	$q_0^H$ кН/м	$\Delta q^H$ кН/м	Номер схемы	$R_{yo}$ кН/см <sup>2</sup>	$R_{yp}$ кН/см <sup>2</sup>	$M_0$ кН·м	$\Delta M$ кН·м
1	6	23	7	1	23	20	75	40
2	7	40	8	2	40	30	800	30
3	8	18	9	3	18	16	50	60
4	9	25	10	4	25	20	150	45
5	10	30	5	1	30	27	110	20
6	6	27	4	2	27	25	85	65
7	7	48	6	3	48	40	650	30
8	8	21	5	4	21	19	75	40
9	9	23	4	1	23	20	100	30
10	10	40	9	2	40	30	50	60
11	6	18	7	3	18	16	150	45
12	7	25	8	4	25	20	110	20
13	8	30	10	1	30	27	85	65
14	9	27	9	2	27	25	65	30
15	10	48	5	3	48	40	75	40
16	6	21	6	4	21	19	100	30
17	7	23	7	1	23	20	50	60
18	8	40	8	2	40	30	150	45
19	9	18	9	3	18	16	110	20
20	10	25	10	4	25	20	85	65





**Индивидуальное задание к занятию № 8**  
**«Расчет и конструирование стропильной фермы из гнutosварных профилей»**

*Исходные данные.* Очертание решетки – фермы с параллельными поясами высотой по наружным граням поясов 2000 мм. Уклон верхнего пояса 1,5%. Опираие на колонны – шарнирное. Пролет фермы 18 м. Шаг ферм 6 м.

№ п/п	Сталь класса прочности	Класс ответственности здания	Расчетная узловaя сила на ферму, кН		Горизонтальная рамная нагрузка, кН
			Постоянная	Снеговая	
1	C245	I	232,8	220,2	700
2	C255	II	245,6	250,3	600
3	C275	III	256,8	215,2	800
4	C345	II	266,3	225,6	500
5	C375	III	270,6	218,5	600
6	C285	I	284,5	230,5	700
7	C235	III	294,4	257,1	800
8	C245	II	286,4	216,8	650
9	C255	I	210,3	241,1	750
10	C275	III	235,1	237,5	850
11	C345	I	265,2	233,1	800
12	C375	II	304,5	212,2	700
13	C285	II	315,2	199,6	650
14	C235	III	324,9	185,6	550
15	C245	I	297,1	200,4	600
16	C255	II	284,2	230,2	850
17	C275	III	288,6	211,1	700
18	C345	I	231,3	274,3	750
19	C375	II	255,8	228,4	650
20	C285	I	299,5	218,5	500



**Индивидуальное задание к занятию № 9**  
**«Расчет и конструирование стропильной фермы из уголков»**

*Исходные данные.* Очертание решетки – ферма с параллельными поясами высотой по обушкам уголков 3150 мм. Покрытие из сборных железобетонных ребристых плит размером 6х3 м. Пролет фермы 24 м. Шаг ферм 6м.

№ п/п	Материал элементов фермы	Материал фасонки	Класс ответственности здания	Расчетная постоянная узловая сила на ферму, кН	Снеговой район
1	C245	C255	I	232,8	I
2	C245	C275	I	245,6	II
3	C245	C245	I	256,8	III
4	C245	C255	I	266,3	IV
5	C245	C275	I	270,6	V
6	C245	C245	II	284,5	II
7	C245	C255	II	294,4	III
8	C255	C275	II	286,4	IV
9	C255	C245	II	210,3	V
10	C255	C255	II	235,1	VI
11	C255	C275	II	265,2	III
12	C255	C245	II	304,5	I
13	C255	C255	II	315,2	II
14	C275	C275	II	324,9	III
15	C275	C245	I	297,1	IV
16	C275	C255	I	284,2	V
17	C275	C275	I	288,6	I
18	C275	C245	I	231,3	II
19	C275	C255	I	255,8	III
20	C275	C275	I	299,5	IV

**Расчетные сопротивления стали, сварных и болтовых соединений,  
кН/см<sup>2</sup>**

Таблица В.5

Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе  
истового, широкополосного универсального и фасонного проката

Сталь по ГОСТ 27772	Толщина проката*, мм	Нормативное сопротивле- ние** проката, Н/мм <sup>2</sup>		Расчетное сопротивление*** про- ката, Н/мм <sup>2</sup>	
		$R_{yk}$	$R_{yk}$	$R_y$	$R_z$
C235	От 2 до 8	235	360	230/225	350/345
C245	" 2 " 20	245	370	240/235	360/350
	Св. 20 " 30	235	370	230/225	360/350
C255	От 2 " 20	245	370	240/235	360/350
	Св. 20 " 40	235	370	230/225	360/350
C285	От 2 " 10	275	390	270/260	380/370
	Св. 10 " 20	265	380	260/250	370/360
C345	От 2 " 20	325	470	320/310	460/450
	Св. 20 " 40	305	460	300/290	450/440
	" 40 " 80	285	450	280/270	440/430
	" 80 " 100	265	430	260/250	420/410
C345K	От 4 " 10	345	470	335/330	460/450
C375	" 2 " 20	355	490	345/340	480/465
	Св. 20 " 40	335	480	325/320	470/455
C390	От 4 " 50	390	540	380/370	525/515
C440	" 4 " 30	440	590	430/420	575/560
	Св. 30 " 50	410	570	400/390	555/540
C590 C590K	От 10" 40	590	685	575/560	670/650

\* За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки.

\*\* За нормативное сопротивление приняты гарантированные значения предела текучести и временного сопротивления, приводимые в государственных стандартах или технических условиях. В тех случаях, когда эти значения в государственных стандартах или технических условиях приведены только в одной системе единиц – (кгс/мм<sup>2</sup>), нормативные сопротивления (Н/мм<sup>2</sup>) вычислены умножением соответствующих величин на 9,81 с округлением до 5 Н/мм<sup>2</sup>. По согласованию с организацией – составителем норм допускается применение значений нормативных сопротивлений, отличных от приведенных в настоящей табл. В.5.

\*\*\* Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений на коэффициенты надежности по материалу, определенные в соответствии с 3.2, с округлением до 5 Н/мм<sup>2</sup>. В числителе представлены значения расчетных сопротивлений проката, поставляемого по ГОСТ 27772 (кроме стали C590K) или другой нормативной документации, в которой используется процедура контроля свойств проката по ГОСТ 27772 ( $\gamma_m = 1,025$ ), в знаменателе – расчетное сопротивление остального проката при  $\gamma_m = 1,050$

Таблица В.6

Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении, сжатии и изгибе труб

Марка стали	ГОСТ	Толщина стенки, мм	Нормативное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>		Расчетное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup>	
			$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$
ВСтЗкп, ВСтЗпс, ВСтЗсп	ГОСТ 10705	До 10	225	370	215	350
ВСтЗпс4, СтЗсп4, 20	ГОСТ 10706	4-15	245	370	235	350
	ГОСТ 8731	4-36	245	410	225	375
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. Нормативные сопротивления для труб из стали марки 09Г2С по ГОСТ 8731 устанавливаются по соглашению сторон в соответствии с требованиями этого стандарта; расчетные сопротивления – согласно 5.2 настоящих норм.</p> <p>2. Для труб марок сталей и толщин, поставляемых по другим стандартам и ТУ, допускается назначение нормативных и расчетных сопротивлений по согласованию с организацией – составителем норм</p>						

Таблица Г.5

Нормативные сопротивления стали болтов и расчетные сопротивления  
одноболтовых соединений срезу и растяжению, Н/мм<sup>2</sup>

Класс прочности болтов ГОСТ Р 52627	$R_{bun}$	$R_{byn}$	$R_{bs}$	$R_{bt}$
5,6	500	300	210	225
5,8	500	400	210	–
8,8	830	665	330	450
10,9	1040	935	415	560
12,9	1220	1100	425	–

Таблица Г.6

## Расчетные сопротивления смятию элементов, соединяемых болтами

Временное сопротивление стали соединяемых элементов $R_{ст}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Расчетные сопротивления $R_{ср}$ , Н/мм <sup>2</sup> , смятию элементов, соединяемых болтами	
	классов точности А	классов точности В
360	560	475
370	580	485
380	590	500
390	610	515
430	670	565
440	685	580
450	700	595
460	720	605
470	735	620
480	750	630
490	765	645
510	795	670
540	845	710
570	890	750
590	920	775

*Примечание.* Значения расчетных сопротивлений, указанные в таблице, вычислены по формулам раздела 4 настоящих норм с округлением до 5 Н/мм<sup>2</sup>

Таблица Г.9

## Площади сечения болтов

$d$ , мм	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
$A_b$ , см <sup>2</sup>	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
$A_{bn}$ , см <sup>2</sup>	1,57	1,92	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72

*Примечания*

1. Площади сечения болтов диаметром свыше 48 мм следует принимать по ГОСТ 24379.1.
2. Размеры, заключенные в скобки, не рекомендуется применять в конструкциях, кроме опор ВЛ и ОРУ

## Материалы для соединений стальных конструкций

Таблица Г.1

Материалы для сварки, соответствующие стали

Сталь	Материалы для сварки				
	в углекислом газе (по ГОСТ 8050) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157)	под флюсом (по ГОСТ 9087)		порошковой проволокой (по ГОСТ 26271)	покрытыми электродами (по ГОСТ 9467)
	Марка				Тип электрода
	сварочной проволоки для автоматической и механизированной сварки (по ГОСТ 2246)	флюса	порошковой проволоки		
$R_{\text{yn}} < 290 \text{ Н/мм}^2$	Св-08Г2С	Св-08А	АН-348-А АН-60* ПФК-56С****	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э42*, Э42А
		Св-08ГА			Э46*, Э46А
$290 \text{ Н/мм}^2 \leq R_{\text{yn}} < 590 \text{ Н/мм}^2$		Св-10ГА**	АН-17-М АН-43 АН-47 АН-348-А*** ПФК-56С****		Э50*, Э50А
		Св-10Г2** Св-10НМА			—
$R_{\text{yn}} \geq 590 \text{ Н/мм}^2$	Св-08Г2С Св-08ХГСМА	Св-10НМА	АН-17-М ПФК-56С****	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э60
	Св-10ХГ2СМА	Св-08ХН2ГМЮ			Э70

\* Флюс АН-60 и электроды типа Э42, Э46, Э50 следует применять для конструкций групп 2, 3 при расчетных температурах  $t \geq -45 \text{ }^\circ\text{C}$ .

\*\* Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

\*\*\* Для флюса АН-348-А требуется дополнительный контроль механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин при расчетных температурах  $t < -45 \text{ }^\circ\text{C}$  и толщин свыше 32 мм – при расчетных температурах  $t \geq -45 \text{ }^\circ\text{C}$ .

\*\*\*\* Керамический флюс по ТУ 59295-001-56315282-2004.

*Примечание.* При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций разрешается использовать сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице. При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов согласно настоящей таблице

Таблица Г.2

**Нормативные и расчетные сопротивления металла швов сварных соединений с угловыми швами**

Сварочные материалы		$R_{wшл}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$R_{wшс}$ , Н/мм <sup>2</sup>
тип электрода (по ГОСТ 9467)	марка проволоки		
Э42, Э42А Э46, Э46А Э50, Э50А	Св-08, Св-08А	410	180
	Св-08ГА,	450	200
	Св-08Г2С, Св-10ГА, ПП-АН-8, ПП-АН-3	490	215
Э60	Св-08Г2С*, Св-10НМА, Св-10Г2	590	240
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ	685	280
Э85	—	835	340

\* Только для швов с катетом  $k_f \leq 8$  мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 Н/мм<sup>2</sup> и более

Таблица 38

Вид соединения	Вид сварки	Предел текучести стали, Н/мм <sup>2</sup>	Минимальный катет шва $k_f$ , мм, при толщине более толстого из свариваемых элементов $t$ , мм						
			4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
Тавровое с двусторонними угловыми швами  Нахлесточное и угловое	Ручная дуговая	До 285	4	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	4	5	6	7	8	9	10
		" 390 " 590	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматическая и механизированная	До 285	3	4	4	5	5	6	6
		Св. 285 до 390	3	4	5	6	7	8	9
		" 390 " 590	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная дуговая	До 375	5	6	7	8	9	10	12
	Автомат. и механ.		4	5	6	7	8	9	10

1. В конструкциях из стали с пределом текучести свыше 590 Н/мм<sup>2</sup>, а также из всех сталей при толщине элементов более 80 мм минимальный катет швов следует принимать по специальным техническим условиям.

2. В конструкциях группы 4 минимальный катет односторонних угловых швов следует уменьшать на 1 мм при толщине свариваемых элементов до 40 мм и на 2 мм – при толщине элементов свыше 40 мм

Таблица 39

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки сплошного сечения $d$ , мм	Положение шва	Коэффициент	Значения коэффициентов $\beta_f$ и $\beta_z$ при нормальных режимах сварки и катетах швов, мм			
			3-8	9-12	14-16	св. 16
Автоматическая при $d = 3-5$	В лодочку	$\beta_f$	1,1			0,7
		$\beta_z$	1,15			1,0
	Нижнее	$\beta_f$	1,1	0,9	0,7	
		$\beta_z$	1,15	1,05	1,0	
Автоматическая и механизированная при $d = 1,4-2$	В лодочку	$\beta_f$	0,9		0,8	0,7
		$\beta_z$	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	
		$\beta_z$	1,05	1,0		
Ручная и механизированная при $d < 1,4$ или порошковой проволокой	В лодочку	$\beta_f$	0,7			
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	$\beta_z$	1,0			

**Коэффициенты для расчета на устойчивость центрально- и  
внецентренно-сжатых элементов**

Таблица Д.1

Коэффициенты устойчивости при центральном сжатии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты $\varphi$ для типа сечения		
	$a$	$b$	$c$
0,4	999	998	992
0,6	994	986	950
0,8	981	967	929
1,0	968	948	901
1,2	954	927	878
1,4	938	905	842
1,6	920	881	811
1,8	900	855	778
2,0	877	826	744
2,2	851	794	709
2,4	820	760	672
2,6	785	722	635
2,8	747	683	598
3,0	704	643	562
3,2	660	602	526
3,4	615	562	492
3,6	572	524	460
3,8	530	487	430
4,0	475	453	401
4,2	431	421	375
4,4	393	392	351
4,6	359	359	328
4,8	330	330	308
5,0	304	304	289
5,2	281	281	271
5,4	261		255
5,6	242		240
5,8		226	
6,0		211	
6,2		198	
6,4		186	
6,6		174	
6,8		164	
7,0		155	
7,2		147	
7,4		139	
7,6		132	
7,8		125	

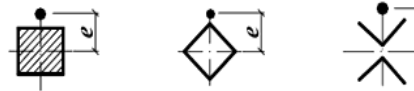
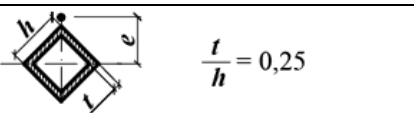
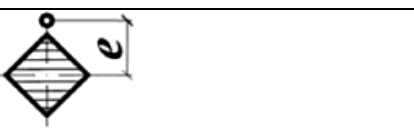
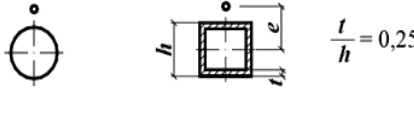
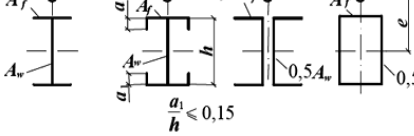


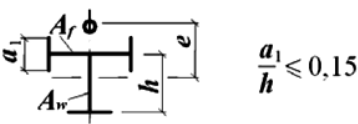
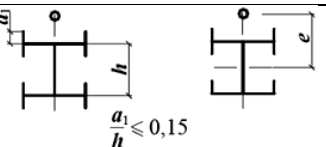
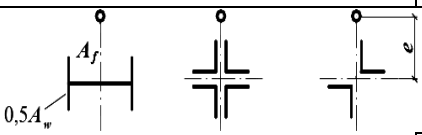
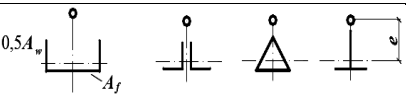
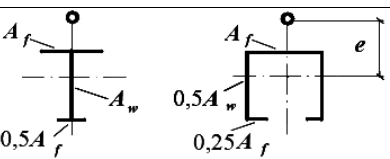
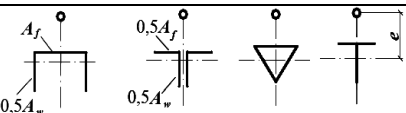
8,0	119
8,5	105
9,0	094
9,5	084
10,0	076
10,5	069
11,0	063
11,5	057
12,0	053
12,5	049
13,0	045
14,0	039

Примечание. Значения коэффициентов  $\varphi$  в таблице увеличены в 1000 ра.

Таблица Д.2

Коэффициенты влияния формы сечения  $\eta$

Тип сечения	Схема сечения и эксцентриситет	$\frac{A_f}{A_w}$	Значения $\eta$ при			
			$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$	$0,1 \leq m \leq 5$	$5 < m \leq 20$
1		-	1,0	1,0	1,0	1,0
2		-	0,85	0,85	0,85	0,85
3		-	$0,75 + 0,02 \bar{\lambda}$	$0,75 + 0,02 \bar{\lambda}$	0,85	0,85
4		-	$(1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$	1,1	1,1	1,1
5		0,25	$(1,45 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$	1,2	1,2	1,2
		0,5	$(1,75 - 0,1m) - 0,02(5 - m)\bar{\lambda}$	1,25	1,25	1,25
		$\geq 1,0$	$(1,90 - 0,1m) - 0,02(6 - m)\bar{\lambda}$	$1,4 - 0,02 \bar{\lambda}$	1,3	1,3

6		-	$\eta_5 \left[ 1 - 0,3(5-m) \frac{a_1}{h} \right]$	$\eta_5$	$\eta_5$	
7		-	$\eta_5 \left( 1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$	$\eta_5 \left( 1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$	$\eta_5 \left( 1 - 0,8 \frac{a_1}{h} \right)$	
8		0,25	$(0,75 + 0,05m) - 0,01(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
		0,5	$(0,5 + 0,1m) + 0,02(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
		$\geq 1$	$(0,25 + 0,15m) + 0,03(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
9		0,5	$(1,25 - 0,05m) - 0,01(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
		$\geq 1$	$(1,5 - 0,1m) - 0,02(5-m)\bar{\lambda}$	1,0	1,0	
10		0,5	1,4	1,4	1,4	
		1,0	$1,6 - 0,01(5-m)\lambda$	1,6	$1,35 + 0,05 \text{ ???}$	1,6
		2,0	$1,8 - 0,02(5-m)\lambda$	1,8	$1,3 + 0,1 \text{ ???}$	1,8
11		0,5	$1,45 + 0,04m$	1,65	$1,45 + 0,04 \text{ ???}$	1,65
		1,0	$1,8 + 0,12m$	2,4	$1,8 + 0,12 \text{ ???}$	2,4
		1,5	$2,0 + 0,25m + 0,1\lambda$	-	-	-
		2,0	$3,0 + 0,25m + 0,1\lambda$	-	-	-

**Примечания**

- Для типов сечений 5–7 при подсчете значений  $A_f / A_w$  площадь вертикальных элементов полок не следует учитывать.
- Для типов сечений 6–7 значения  $\eta_5$  следует принимать равными значениям  $\eta$  для типа 5 при тех же значениях  $A_f / A_w$

Таблица Д.3

Коэффициенты устойчивости  $\varphi_e$  при внецентренном сжатии сплошностенчатых стержней в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение $\varphi_e$ при приведенном относительном эксцентриситете $m_{ef}$								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	049
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045

Продолжение табл. Д.3

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение $\varphi_e$ при приведенном относительном эксцентриситете $m_{ef}$								
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
0,5	469	417	370	337	307	280	260	237	222
1,0	427	382	341	307	283	259	240	225	209
1,5	388	347	312	283	262	240	223	207	195
2,0	352	315	286	260	240	222	206	193	182
2,5	317	287	262	238	220	204	190	178	168
3,0	287	260	238	217	202	187	175	166	156
3,5	258	233	216	198	183	172	162	153	145
4,0	232	212	197	181	168	158	149	140	135
4,5	208	192	178	165	155	146	137	130	125
5,0	188	175	162	150	143	135	126	120	117
5,5	170	158	148	138	132	124	117	112	108
6,0	153	145	137	128	120	115	109	104	100
6,5	140	132	125	117	112	106	101	097	094
7,0	127	121	115	108	102	098	094	091	087
8,0	106	100	095	091	087	083	081	078	076
9,0	088	085	082	079	075	072	069	066	065
10,0	075	072	070	069	065	062	060	059	058
11,0	063	062	061	060	057	055	053	052	051
12,0	055	054	053	052	051	050	049	048	047
13,0	049	048	048	047	045	044	043	042	041
14,0	044	043	043	042	041	040	040	039	039

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение $\varphi_e$ при приведенном относительном эксцентриситете $\eta_{ef}$							
	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	210	183	164	150	125	106	090	077
1,0	196	175	157	142	121	103	086	074
1,5	182	163	148	134	114	099	082	070
2,0	170	153	138	125	107	094	079	067
2,5	158	144	130	118	101	090	076	065
3,0	147	135	123	112	097	086	073	063
3,5	137	125	115	106	092	082	069	060
4,0	127	118	108	098	088	078	066	057
4,5	118	110	101	093	083	075	064	055
5,0	111	103	095	088	079	072	062	053
5,5	104	095	089	084	075	069	060	051
6,0	096	089	084	079	072	066	057	049
6,5	089	083	080	074	068	062	054	047
7,0	083	078	074	070	064	059	052	045
8,0	074	068	065	062	057	053	047	041
9,0	064	061	058	055	051	048	043	038
10,0	057	055	052	049	046	043	039	035
11,0	050	048	046	044	040	038	035	032
12,0	046	044	042	040	037	035	032	029
13,0	041	039	038	037	035	033	030	027
14,0	038	037	036	036	034	032	029	026

*Примечания*

1. Значения коэффициентов  $\varphi_e$  в таблице увеличены в 1000 раз.
2. Значения  $\varphi_e$  следует принимать не выше значений  $\varphi$

Таблица Д.4

Коэффициенты устойчивости  $\varphi_e$  при внецентренном сжатии сквозных стержней в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная приведенная гибкость $\bar{\lambda}_{yF}$	Значение $\varphi_e$ при относительном эксцентриситете $\eta^2$								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
0,5	908	800	666	571	500	444	400	364	333
1,0	872	762	640	553	483	431	387	351	328
1,5	830	727	600	517	454	407	367	336	311
2,0	774	673	556	479	423	381	346	318	293
2,5	708	608	507	439	391	354	322	297	274
3,0	637	545	455	399	356	324	296	275	255
3,5	562	480	402	355	320	294	270	251	235
4,0	484	422	357	317	288	264	246	228	215
4,5	415	365	315	281	258	237	223	207	196
5,0	350	315	277	250	230	212	201	186	178
5,5	300	273	245	223	203	192	182	172	163
6,0	255	237	216	198	183	174	165	156	149
6,5	221	208	190	178	165	157	149	142	137
7,0	192	184	168	160	150	141	135	130	125
8,0	148	142	136	130	123	118	113	108	105
9,0	117	114	110	107	102	098	094	090	087
10,0	097	094	091	090	087	084	080	076	073
11,0	082	078	077	076	073	071	068	066	064
12,0	068	066	064	063	061	060	058	057	056
13,0	060	059	054	053	052	051	050	049	049
14,0	050	049	048	047	046	046	045	044	043

Продолжение табл. Д.4

Условная приведенная гибкость $\bar{\lambda}_{gr}$	Значение $\varphi_{gr}$ при относительном эксцентриситете $\eta^2$								
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
0,5	286	250	222	200	182	167	154	143	133
1,0	280	243	218	197	180	165	151	142	131
1,5	271	240	211	190	178	163	149	137	128
2,0	255	228	202	183	170	156	143	132	125
2,5	238	215	192	175	162	148	136	127	120
3,0	222	201	182	165	153	138	130	121	116
3,5	206	187	170	155	143	130	123	115	110
4,0	191	173	160	145	133	124	118	110	105
4,5	176	160	149	136	124	116	110	105	096
5,0	161	149	138	127	117	108	104	100	095
5,5	147	137	128	118	110	102	098	095	091
6,0	135	126	119	109	103	097	093	090	085
6,5	124	117	109	102	097	092	088	085	080
7,0	114	108	101	095	091	087	083	079	076
8,0	097	091	085	082	079	077	073	070	067
9,0	082	079	075	072	069	067	064	062	059
10,0	070	067	064	062	060	058	056	054	052
11,0	060	058	056	054	053	052	050	048	046
12,0	054	053	050	049	048	047	045	043	042
13,0	048	047	046	045	044	044	042	041	040
14,0	043	042	042	041	041	040	039	039	038

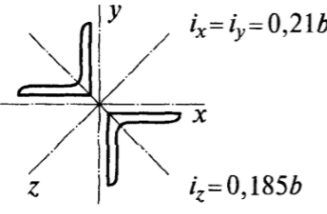
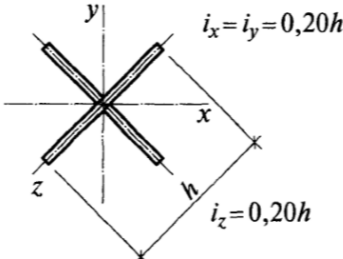
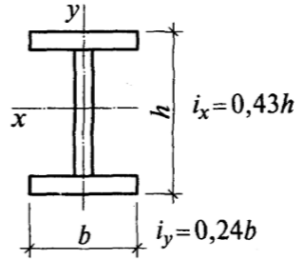
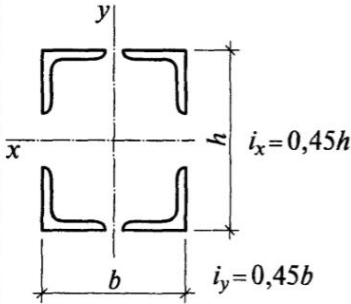
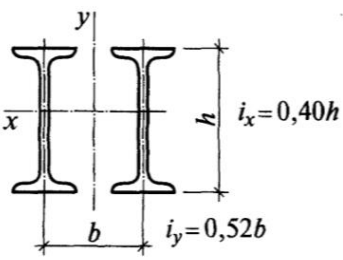
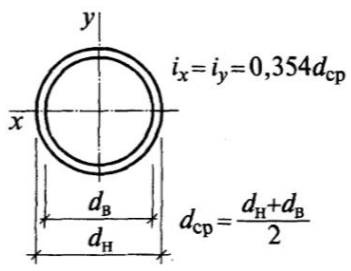
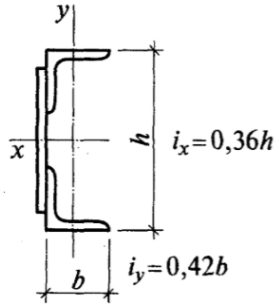
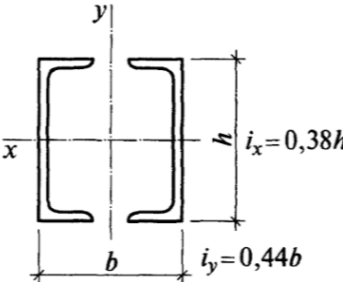
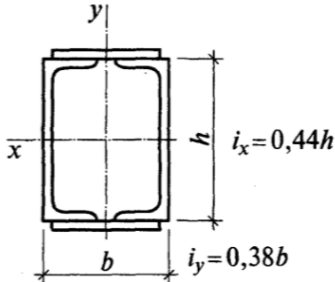
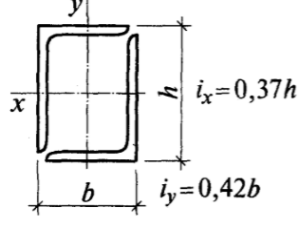
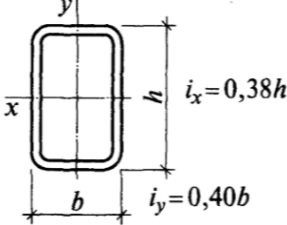
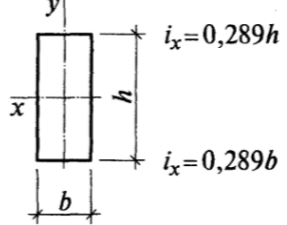
Условная приведенная гибкость $\bar{\lambda}_{\varphi}$	Значение $\varphi_{\varphi}$ при относительном эксцентриситете $m$							
	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	125	111	100	091	077	067	058	048
1,0	121	109	098	090	077	066	055	046
1,5	119	108	096	088	077	065	053	045
2,0	117	106	095	086	076	064	052	045
2,5	113	103	093	083	074	062	051	044
3,0	110	100	091	081	071	061	051	043
3,5	106	096	088	078	069	059	050	042
4,0	100	093	084	076	067	057	049	041
4,5	096	089	079	073	065	055	048	040
5,0	092	086	076	071	062	054	047	039
5,5	087	081	074	068	059	052	046	039
6,0	083	077	070	065	056	051	045	039
6,5	077	072	066	061	054	050	044	037
7,0	074	068	063	058	051	047	043	036
8,0	065	060	055	052	048	044	041	035
9,0	056	053	050	048	045	042	039	035
10,0	050	047	045	043	041	038	036	033
11,0	044	043	042	041	038	035	032	030
12,0	040	039	038	037	034	032	030	028
13,0	038	037	036	035	032	030	028	026
14,0	037	036	035	034	031	029	027	025

*Примечания*

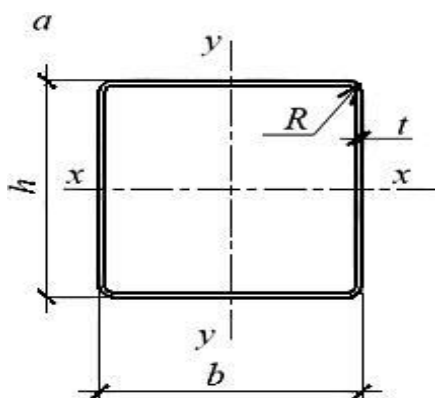
1. Значения коэффициентов  $\varphi_{\varphi}$  в таблице увеличены в 1000 раз.
2. Значения  $\varphi_{\varphi}$  следует принимать не выше значений  $\varphi$



Приближенные значения радиусов инерции  $i = \sqrt{I/A}$  некоторых типов сечений

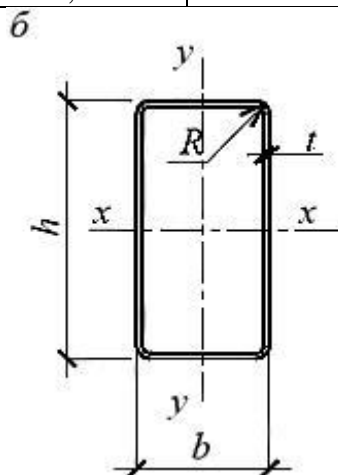
 <p><math>i_x = i_y = 0,21b</math> <math>i_z = 0,185b</math></p>	 <p><math>i_x = i_y = 0,20h</math> <math>i_z = 0,20h</math></p>	 <p><math>i_x = 0,43h</math> <math>i_y = 0,24b</math></p>
 <p><math>i_x = 0,45h</math> <math>i_y = 0,45b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,40h</math> <math>i_y = 0,52b</math></p>	 <p><math>i_x = i_y = 0,354d_{cp}</math> <math>d_{cp} = \frac{d_H + d_B}{2}</math></p>
 <p><math>i_x = 0,36h</math> <math>i_y = 0,42b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,38h</math> <math>i_y = 0,44b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,44h</math> <math>i_y = 0,38b</math></p>
 <p><math>i_x = 0,37h</math> <math>i_y = 0,42b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,38h</math> <math>i_y = 0,40b</math></p>	 <p><math>i_x = 0,289h</math> <math>i_x = 0,289b</math></p>

**Сортаменты**  
**ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций»**



<i>h</i>	<i>b</i>	<i>t</i>	Площадь поперечного сечения	Справочные величины для осей			Масса 1 м, кг
				x-x			
				$J_x, J_y, \text{см}^4$	$W_x, W_y, \text{см}^3$	$i_x, i_y, \text{см}$	
80	80	4,0	11,75	111,0	27,74	3,07	9,22
		4,5	13,07	121,5	30,37	3,05	10,26
		5,0	14,36	131,3	32,83	3,02	11,27
		5,5	15,61	140,3	35,12	3,00	12,25
		6,0	16,83	149,0	37,24	2,97	13,21
		6,5	17,66	151,0	37,76	2,92	13,86
		7,0	18,76	157,4	39,34	2,90	14,72
		7,5	19,82	163,0	40,76	2,87	15,56
		8,0	20,84	168,0	42,01	2,84	16,36
90	90	4,0	13,35	161,8	35,96	3,48	10,48
		4,5	14,87	177,8	39,50	3,46	11,67
		5,0	16,36	192,8	42,84	3,43	12,84
		5,5	17,81	206,9	45,99	3,41	13,98
		6,0	19,23	220,2	48,94	3,38	15,10
		6,5	20,26	225,3	50,07	3,34	15,90
		7,0	21,56	235,8	52,40	3,31	16,92
		7,5	22,82	245,4	54,54	3,28	17,91
		8,0	24,04	254,2	56,48	3,25	18,87
100	100	4,0	14,95	225,1	45,02	3,88	11,73
		4,5	16,67	247,5	49,50	3,85	13,08
		5,0	18,36	270,9	54,19	3,84	14,41
		5,5	20,01	291,6	58,32	3,82	15,71
		6,0	21,63	311,2	62,24	3,79	16,98
		6,5	22,86	320,6	64,12	3,75	17,94
		7,0	24,36	336,7	67,33	3,72	19,12
		7,5	25,82	351,6	70,32	3,69	20,27
		8,0	27,24	365,4	73,09	3,66	21,39

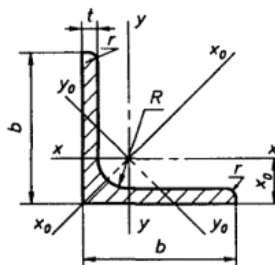
120	120	4,0	18,15	402,2	67,03	4,71	14,25
		4,5	20,27	444,5	74,09	4,68	15,91
		5,0	22,36	485,3	80,88	4,66	17,55
		5,5	24,41	524,3	87,39	4,63	19,16
		6,0	26,43	561,8	93,64	4,61	20,75
		6,5	28,06	584,6	97,43	4,56	22,03
		7,0	29,96	616,8	102,8	4,54	23,52
		7,5	31,82	647,3	107,9	4,51	24,98
140	140	8,0	33,64	676,2	112,7	4,48	26,41
		4,0	21,35	651,1	93,07	5,52	16,76
		4,5	23,87	722,1	103,2	5,50	18,74
		5,0	26,36	790,3	112,9	5,48	20,69
		5,5	28,81	856,3	122,3	5,45	22,62
		6,0	31,23	920,0	131,4	5,43	24,52
		6,5	33,26	963,6	137,7	5,38	26,11
		7,0	35,56	1020	145,7	5,36	27,91
		7,5	37,82	1074	153,5	5,33	29,69
		8,0	40,04	1126	160,8	5,30	31,43



h	b	t	Площадь поперечного сечения А, $см^2$	Справочные значения величин для осей						Масса 1 м, кг
				x-x			y-y			
				$J_x, см^4$	$W_x, см^3$	$i_x, см$	$J_y, см^4$	$W_y, см^3$	$i_y, см$	
80	70	4,0	10,95	99,42	24,86	3,01	80,77	23,08	2,72	8,59
		4,5	12,17	108,7	27,17	2,99	88,20	25,20	2,69	9,55
		5,0	13,36	117,3	29,31	2,96	95,09	27,17	2,67	10,48
		5,5	14,51	125,2	31,30	2,94	101,5	28,98	2,64	11,39
		6,0	15,63	132,5	33,14	2,91	107,3	30,66	2,62	12,27
		6,5	16,36	133,5	33,37	2,86	108,2	30,92	2,57	12,84
		7,0	17,36	138,7	34,68	2,83	112,4	32,11	2,54	13,63
90	50	4,0	10,15	102,7	22,82	3,18	40,63	16,25	2,00	7,97
		4,5	11,27	112,0	24,88	3,15	44,09	17,63	1,98	8,85
		5,0	12,36	120,5	26,79	3,12	47,23	18,89	1,95	9,70
		5,5	13,41	128,4	28,53	3,09	50,06	20,02	1,93	10,53
		6,0	14,43	135,6	30,13	3,06	52,59	21,04	1,91	11,33
		6,5	15,06	134,7	29,93	2,99	52,62	21,05	1,87	11,82
		7,0	15,96	139,4	30,97	2,96	54,27	21,71	1,84	12,53

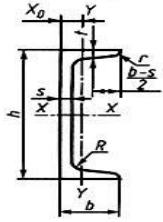
90	60	4,0	10,95	117,5	26,10	3,28	62,32	20,77	2,39	8,59
		4,5	12,17	128,4	28,54	3,25	67,93	22,62	2,36	9,55
		5,0	13,36	138,6	30,80	3,22	73,10	24,37	2,34	10,48
		5,5	14,51	148,0	32,90	3,19	77,84	25,95	2,32	11,39
		6,0	15,63	156,7	34,83	3,17	82,12	27,39	2,29	12,27
		7,0	17,36	163,5	36,33	3,07	85,93	28,64	2,23	13,63
100	40	4,0	10,15	115,7	23,13	3,38	26,60	13,30	1,62	7,97
		4,5	11,27	126,0	25,21	3,34	28,71	14,36	1,60	8,85
		5,0	12,36	135,6	27,11	3,31	30,59	15,30	1,57	9,70
		5,5	13,41	144,3	28,85	3,28	32,25	16,12	1,55	10,53
		6,0	14,43	152,2	30,43	3,25	33,69	16,85	1,53	11,33
		6,5	15,06	150,1	30,03	3,16	33,54	16,77	1,49	11,82
100	50	4,0	10,95	134,1	26,82	3,50	44,86	17,94	2,62	8,59
		4,5	12,17	146,6	29,31	3,47	48,74	19,50	2,00	9,55
		5,0	13,36	158,1	31,62	3,44	52,29	20,92	1,98	10,48
		5,5	14,51	168,1	33,76	3,41	55,50	22,20	1,96	11,39
		6,0	15,63	168,8	35,73	3,38	58,40	23,36	1,93	12,27
		6,5	16,36	178,6	35,71	3,30	58,77	23,51	1,90	12,84
100	60	4,0	11,75	152,5	30,51	3,60	68,59	22,86	2,42	9,22
		4,5	13,07	167,1	33,42	3,58	74,86	24,95	2,39	10,26
		5,0	14,36	180,7	36,44	3,55	80,66	26,89	2,37	11,27
		5,5	15,61	193,4	38,68	3,52	86,01	28,67	2,35	12,25
		6,0	16,83	205,2	41,03	3,49	90,93	30,31	2,32	13,21
		6,5	17,66	207,0	41,39	3,42	92,18	30,73	2,28	13,86
120	40	4,0	11,75	186,9	31,14	3,99	31,79	15,89	1,64	9,22
		4,5	13,07	204,4	34,07	3,96	34,38	17,19	1,62	10,26
		5,0	14,36	220,8	36,79	3,92	36,72	18,36	1,60	11,27
		5,5	15,61	235,9	39,32	3,89	38,79	19,40	1,58	12,25
		6,0	16,83	249,9	41,65	3,85	40,63	20,31	1,55	13,21
		6,5	17,66	249,6	41,60	3,76	40,84	20,42	1,52	13,86
120	60	4,0	13,35	240,7	40,12	4,25	81,14	27,05	2,47	10,48
		4,5	14,87	264,5	44,08	4,22	88,72	29,57	2,44	11,67
		5,0	16,36	286,9	47,82	4,19	95,79	31,93	2,42	12,84
		5,5	17,81	308,0	51,34	4,16	102,3	34,12	2,40	13,98
		6,0	19,23	327,9	54,65	4,13	108,4	36,14	2,37	15,10
		6,5	20,26	333,3	55,56	4,06	110,8	36,93	2,34	17,94
		7,0	21,56	348,6	58,10	4,02	115,4	38,48	2,31	19,12

## ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные



Но- мер угол- ка	b	t	R	r	F, см <sup>2</sup>	Справочные значения величин для осей										Мас- са l м, кг
						x-x			x <sub>0</sub> - x <sub>0</sub>		y <sub>0</sub> - y <sub>0</sub>			J <sub>xy</sub> , см <sup>4</sup>	x <sub>0</sub>	
						J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>x0</sub> max, см <sup>4</sup>	i <sub>x0</sub> max, см	J <sub>y0</sub> min, см <sup>4</sup>	W <sub>y0</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y0</sub> max, см			
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	21,83	3,40	278,54	4,29	72,68	17,36	2,19	106,00	2,96	11,89
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	24,77	3,39	314,51	4,28	81,83	19,29	2,18	116,00	3,00	13,50
12	12,5	8	14,0	4,6	19,69	294,36	32,20	3,87	466,67	4,87	121,98	25,67	2,49	172,00	3,36	15,46
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	36,00	3,86	520,00	4,86	135,88	28,26	2,48	192,00	3,40	17,30
		10	14,0	4,6	24,33	359,82	39,74	3,85	571,04	4,84	148,59	30,45	2,47	211,00	3,45	19,10
		12	14,0	4,6	28,89	422,23	47,06	3,82	670,02	4,82	174,43	34,94	2,46	248,00	3,53	22,68
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	54,17	3,80	763,90	4,78	199,62	39,10	2,45	282,00	3,61	26,20
14	140	16	14,0	4,6	37,77	538,56	61,09	3,78	852,84	4,75	224,29	43,10	2,44	315,00	3,68	29,65
		9	14,0	4,6	24,72	465,72	45,55	4,34	739,42	5,47	192,03	35,92	2,79	274,00	3,76	19,41
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	50,32	4,33	813,62	5,46	210,96	39,05	2,78	301,00	3,82	21,45
16	160	12	14,0	4,6	32,49	602,49	59,66	4,31	956,98	5,43	248,01	44,97	2,76	354,00	3,90	25,50
		10	16,0	5,3	31,43	774,24	66,19	4,96	1229,10	6,25	319,33	52,52	3,19	455,00	4,30	24,67
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	72,44	4,95	1340,06	6,24	347,77	56,53	3,18	496,00	4,35	27,02
		12	16,0	5,3	37,39	912,89	78,62	4,94	1450,00	6,23	375,78	60,53	3,17	537,00	4,39	29,35
16	160	14	16,0	5,3	43,57	1046,47	90,77	4,92	1662,13	6,20	430,81	68,15	3,16	615,00	4,47	34,20

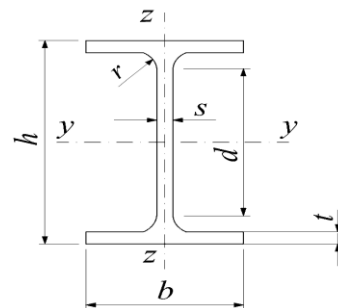
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	102,64	4,89	1865,73	6,17	484,64	75,92	3,14	690,00	4,55	38,52
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	114,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	82,08	3,13	771,00	4,63	43,01
		20	16,0	5,3	60,40	1418,85	125,60	4,85	2061,03	6,10	589,43	90,02	3,12	830,00	4,70	47,41
18	180	11	16,0	5,3	38,80	1216,44	92,47	5,60	1933,10	7,06	499,78	72,86	3,59	716,00	4,85	33,12
		12	16,0	5,3	42,19	1316,62	100,41	5,59	2092,78	7,04	540,45	78,15	3,58	776,00	4,89	36,97
20	200	12	18,0	6,0	47,10	1822,78	124,61	6,22	2896,16	7,84	749,40	98,68	3,99	1073,00	5,37	36,97
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	134,44	6,21	3116,18	7,83	805,35	105,07	3,98	1156,00	5,42	39,92
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	144,17	6,20	3333,00	7,81	861,00	111,50	3,97	1236,00	5,46	42,80
		16	18,0	6,0	61,98	2362,57	163,37	6,17	3755,39	7,78	969,74	123,77	3,96	1393,00	5,54	48,65
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	200,37	6,12	4860,42	7,72	1181,92	146,62	3,93	1689,00	5,70	60,08
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	245,59	6,06	5494,04	7,63	1438,38	172,68	3,91	2028,00	5,89	74,02
		30	18,0	6,0	111,54	4019,60	288,57	6,00	6351,05	7,55	1698,16	193,06	3,89	2332,00	6,07	87,56



### ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные»

Но- мер швел- лера серии У	h	b	s	t	R		F, см <sup>2</sup>	Мас- са 1 м, кг	Справочные значения для осей							x <sub>0</sub> , см
					не более				X-X				Y-Y			
					мм						J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	
5У	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5У	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,0	8,70	3,68	1,08	1,24
8У	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,3	12,80	4,75	1,19	1,31
10У	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174,0	34,8	3,99	20,4	20,40	6,46	1,37	1,44
12У	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,30	10,40	304,0	50,6	4,78	31,2	31,20	8,52	1,53	1,54
14У	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,30	491,0	70,2	5,60	45,5	45,40	11,0	1,70	1,67
16У	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,20	747,0	93,4	6,42	63,3	63,30	13,8	1,87	1,80
16аУ	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,30	823,0	103,0	6,49	78,8	78,80	16,4	2,01	2,00
18У	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,30	1090,0	121,0	7,24	86,0	86,0	17,0	2,04	1,94
18аУ	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,40	1190,0	132,0	7,32	105,0	105,0	20,0	2,18	2,13
20У	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	8,07	113,0	113,0	20,5	2,20	2,07
22У	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,00	2110,0	192,0	8,89	151,0	151,0	25,1	2,37	2,21
24У	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	9,73	208,0	208,0	31,6	2,60	2,42
27У	270	95	6,0	10,5,	11,0	4,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	10,90	262,0	262,0	37,3	2,73	2,47
30У	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	12,00	327,0	327,0	43,6	2,84	2,52
33У	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,50	7980,0	484,0	13,10	410,0	410,0	51,8	2,97	2,59
36У	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,90	10820	601,0	14,20	513,0	513,0	61,7	3,10	2,68
40У	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,30	15220	761,0	15,70	642,0	642,0	73,4	3,23	2,75

**СТО АСЧМ 20-93 «Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные  
с параллельными гранями полков. Технические условия»**



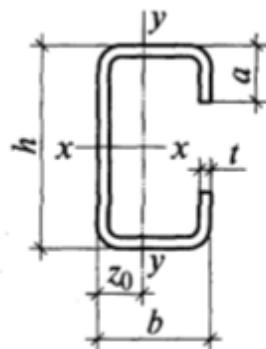
96

Про- филь	Размеры профиля, мм					F, см <sup>2</sup>	Мас- са 1 м, кг	Справочные величины для осей						
	h	b	S	t	R			J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см
10 Б1	100	55	4,1	5,7	7	10,32	8,1	171	34,2	19,7	4,07	15,9	5,8	1,24
12 Б1	117,6	64	3,8	5,1	7	11,03	8,7	257	43,8	24,9	4,83	22,4	7	1,43
12 Б2	120	64	4,4	6,3	7	13,21	10,4	318	53	30,4	4,9	27,7	8,7	1,45
14 Б1	137,4	73	3,8	5,6	7	13,39	10,5	435	63,3	35,8	5,7	36,4	10	1,65
14 Б2	140	73	4,7	6,9	7	16,43	12,9	541	77,3	44,2	5,74	44,9	12,3	1,65
16 Б1	157	82	4	5,9	9	16,18	12,7	689	87,8	49,6	6,53	54,4	13,3	1,83
16 Б2	160	82	5	7,4	9	20,09	15,8	869	108,7	61,9	6,58	68,3	16,7	1,84
18 Б1	177	91	4,3	6,5	9	19,58	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	18	2,05
18 Б2	180	91	5,3	8	9	223,95	18,8	1317	146,3	83,2	7,42	100,8	22,2	2,05
20 Б1	200	100	5,5	8	11	27,16	21,3	1844	184,4	104,7	8,24	133,9	26,8	2,22
25 Б1	248	124	5	8	12	32,68	25,7	3537	285,3	159,7	10,4	254,8	41,1	2,79
25 Б2	250	125	6	9	12	37,66	29,6	4052	324,2	182,9	10,37	293,8	47	2,79
30 Б1	298	149	5,5	8	13	40,80	32	6319	424,1	237,5	12,44	441,9	59,3	3,29
30 Б2	300	150	6,5	9	13	46,78	36,7	7210	480,6	271,1	12,41	507,4	67,7	3,29



35 Б1	346	174	6	9	14	52,68	41,4	11095	641,3	358,1	14,51	791,4	91	3,88
35 Б2	350	175	7	11	14	63,14	49,6	13560	774,8	434	14,65	984,2	112,5	3,95
40 Б1	396	199	7	11	16	72,16	56,6	20020	1011,1	564	16,66	1446,9	145,4	4,48
40 Б2	400	200	8	13	16	84,12	66	23706	1185,3	663,2	16,79	1736,2	173,6	4,54
45 Б1	446	199	8	12	18	84,30	66,2	28699	1287	725,1	18,45	1579,7	158,8	4,33
45 Б2	450	200	9	14	18	96,76	76	33453	1486,8	839,6	18,59	1871,3	187,1	4,4
50 Б1	492	199	8,8	12	20	92,38	72,5	36845	1497,8	853,5	19,97	1581,5	158,9	4,14
50 Б2	496	199	9	14	20	1011,27	79,5	41872	1688,4	957,3	20,33	1844,4	185,4	4,27
50 Б3	500	200	10	16	20	114,23	89,7	47849	1914	1087,7	20,47	2140,3	214	4,33
55 Б1	543	220	9,5	13,5	24	113,36	89	55682	2050,9	1165,1	22,16	2404,5	218,6	4,61
55 Б2	547	220	10	15,5	24	124,75	97,9	62790	2295,8	1301,6	22,44	2760,3	250,9	4,7
60 Б1	596	199	10	15	22	120,45	94,6	68721	2306,1	1325,5	23,89	1979	198,9	4,05
60 Б2	600	200	11	17	22	134,41	105,5	77638	2587,9	1489,5	24,03	2277,5	227,8	4,12

**ГОСТ 8282-83\* «Гнутые равнополочные С-образные профили»**



$h$	$b$	$a$	$s$	$R$ , не более	Пло- щадь сече- ния, $\text{см}^2$	Справочные величины для осей							Мас- са 1 м, кг
мм						$x-x$			$y-y$			$z_0$ , см	
						$I_x$ , $\text{см}^4$	$W_x$ , $\text{см}^3$	$i_x$ , см	$I_y$ , $\text{см}^4$	$W_y$ , $\text{см}^3$	$i_y$ , см		
62	66	17,5	3	4,5	6,23	40,14	12,95	2,54	35,65	9,61	2,39	2,89	4,89
65	32	8	1	1,5	1,38	9,38	2,69	2,61	1,89	0,88	1,17	1,05	1,08
65	32	8	1,6	3	2,11	13,92	4,28	2,57	2,70	1,25	1,13	1,04	1,66
80	50	24	4	6	7,93	73,05	18,26	3,03	27,72	9,65	1,87	2,13	6,23
100	50	10	2	3	4,12	65,59	13,12	4,00	12,64	3,68	1,76	1,56	3,22
100	80	35	5	7,5	14,68	220,49	44,11	3,87	33,57	30,47	3,02	3,62	11,53
120	55	18	5	7,5	11,66	245,74	40,96	4,59	42,52	11,65	1,91	1,85	9,15
160	50	20	3	4,5	8,36	306,37	38,30	6,05	27,17	7,74	1,80	1,49	6,56
160	60	32	4	6	12,57	462,01	37,75	6,05	65,78	7,16	2,29	2,14	9,87
300	60	50	5	7,5	24,36	2861,55	190,77	10,84	125,61	30,42	2,27	1,87	19,12
400	160	50	3	4,5	24,01	6073,68	303,68	15,91	884,54	80,83	6,07	5,06	18,85
400	160	60	4	10	32,27	8028,19	401,41	15,77	1219,71	113,92	6,15	5,29	25,33
550	65	30	4	6	28,55	10258,72	373,04	18,96	110,32	20,64	1,97	1,16	22,41
410	65	30	4	6	22,95	4872,87	237,70	14,57	103,88	20,33	2,13	1,39	18,01

М.А. Салахутдинов, И.Л. Кузнецов

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебно-методическое пособие

Редактор Л.З. Ханафиева

Издательство

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать 23.12.19

Формат 60x84/16

Заказ № 258

Печать ризографическая

Усл.-печ. л. 6,25

Тираж 30 экз.

Бумага офсетная № 1

Уч.-изд. л. 6,25

---

Отпечатано в полиграфическом секторе

Издательства КГАСУ.

420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.