

**Расчётно—пояснительная записка к Альбому  
чертежей: «Конструкции покрытия из замкнутых гнутосварных  
профилей с верхним поясом из прокатного двутавра пролетом 18м,  
24м. Уклон кровли 2%».**

**1.01.10-2-РПЗ.1  
Расчёт узлов конструкций покрытия.**

**Том 1. Расчет узлов фермы ФС-24/2-1,95.**

Инь. №подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	

**2023**

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/2-1,95.....	4
1.1. Узел №1.....	5
1.2. Узел №2.....	14
1.3. Узел №3.....	18
1.4. Узел №4.....	23
1.5. Узел №5.....	27
1.6. Узел №6.....	35
2. ВЫВОДЫ.....	41
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:.....	42

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							2

## ВВЕДЕНИЕ

Данный документ представляет собой расчётно-пояснительную записку к Альбому чертежей: «Конструкции покрытия из замкнутых гнутосварных профилей с верхним поясом из прокатного двутавра пролетом 18м, 24м. Уклон кровли 2%», содержащую основные результаты расчётно-графических работ по:

- проверке назначенных сечений основным конструкциям покрытия, при двусторонней работе связей покрытия;
- проверке назначенных сечений и толщин элементов в узлах конструкций покрытия, при двусторонней работе связей покрытия;

Расчётно-графические работы выполнены на основании исходных данных представленных Заказчиком и технических нормативных правовых актов действующих на территории РФ.

Основными исходными данными, учтёнными в данной работе, являются:

- Техническое задание, Приложение №1 к договору №16-03/23-Р от 16.03.2023 (далее по тексту – Техническое задание);
- Альбом: «Конструкции покрытия из замкнутых гнутосварных профилей с верхним поясом из прокатного двутавра пролетом 18м, 24м. Уклон кровли 2%». Шифр–1.01.10–2–КМ (далее по тексту Альбом).

Целями настоящей работы являются:

- проверка сконструированных узлов и соединений стропильных ферм, подстропильных ферм, подстропильных балок, торцевых балок, связей и надколонников;
- определение несущей способности узлов и соединений элементов покрытия.

Расчётно-графические работы выполнялись на базе пространственных расчётных моделей, сформированных для характерных расчётных фрагментов. Усилия и опорные реакции в элементах взяты из Альбома, а также расчётных моделей, выполненных в программном комплексе ПК «ЛИРА-САПР».

Дальнейший расчет произведен согласно СП 16.13330.2017 “Стальные конструкции” (далее СП 16), СП 294.1325800.2017 “Конструкции стальные. Правила проектирования.” (далее СП 294) и «Рекомендаций по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций» (далее Рекомендации).

Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата

Взам. инв. №	Подп. и дата	Иньв. №подл.	1.01.10–2–РПЗ.1			Лист
						3

# 1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/2-1,95

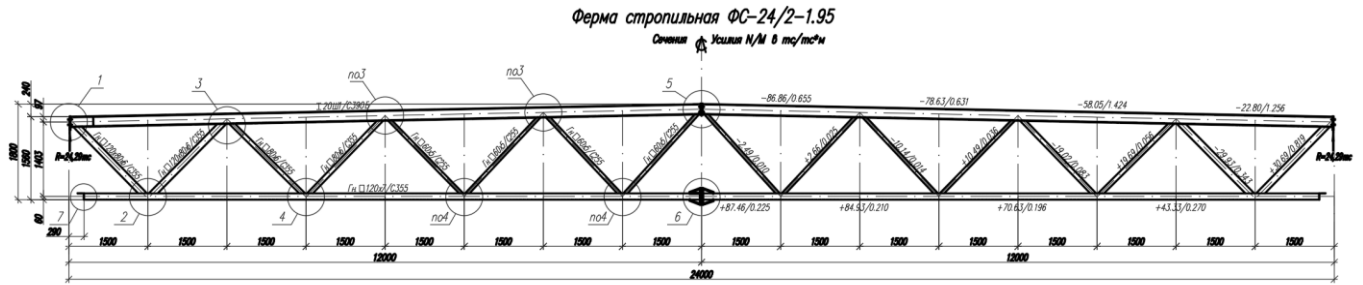


Рис. 1.1 Ферма ФС-24/2-1,95.

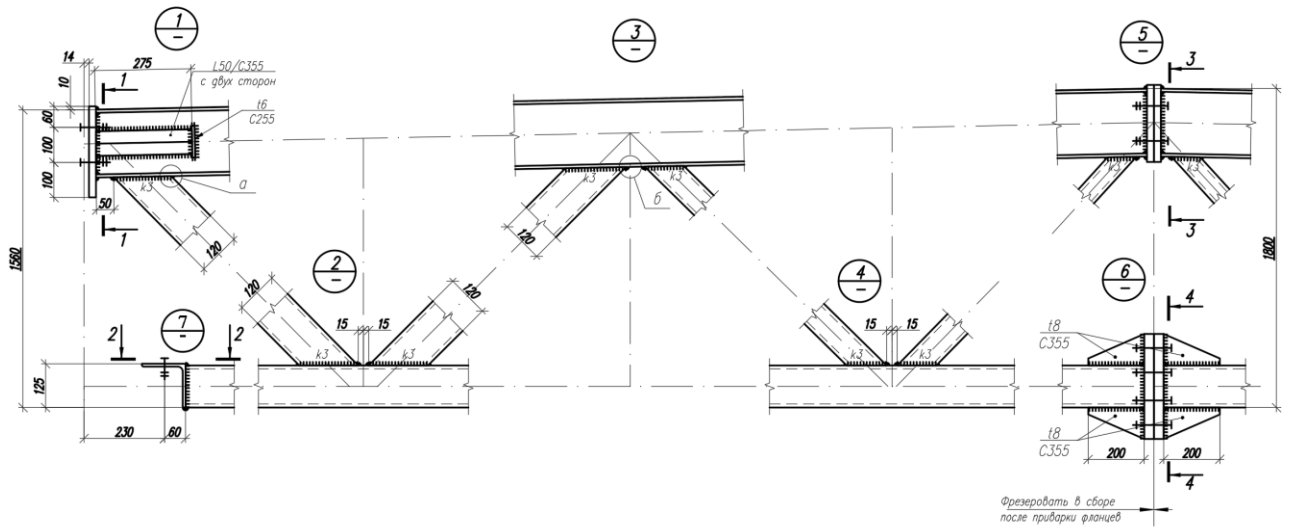


Рис. 1.2 Узлы фермы ФС-24/2-1,95.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							4

## 1.1. Узел №1

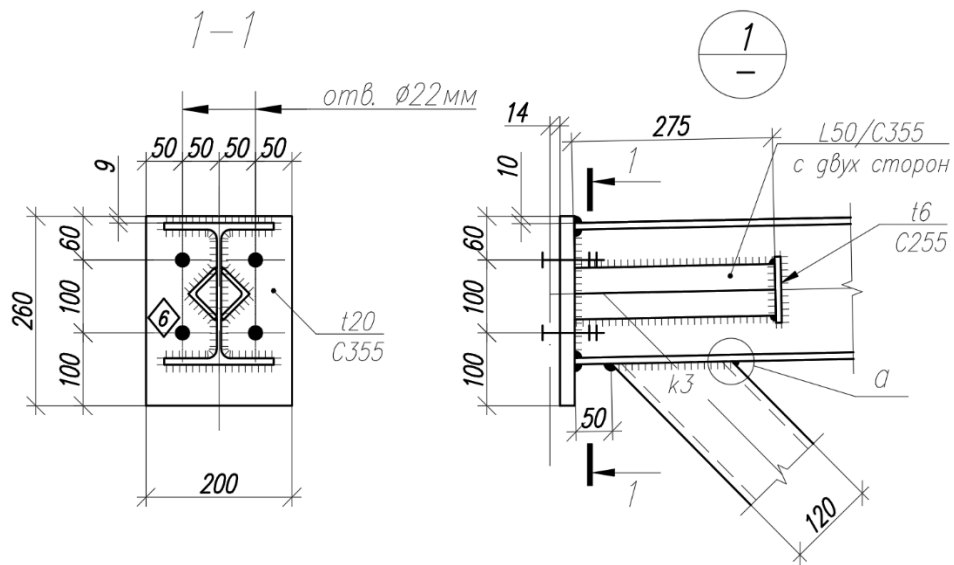


Рис. 1.1.1 Узел 1 фермы ФС-24/2-1,95.

### Исходные данные:

#### Опорный фланец:

- $t = 2,0$  см шириной  $b=20,0$  см;
- сталь С355,  $R_y=350$  Н/мм<sup>2</sup>=3.568 т/см<sup>2</sup>.

#### Верхний пояс (ВП):

- сечение - Двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б;
- $R_y=380$  Н/мм<sup>2</sup>=3.874 т/см<sup>2</sup> при толщине проката <30мм по СП16.13330.2017, табл. В.4;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7$  Н/мм<sup>2</sup> = 2.250 т/см<sup>2</sup> табл.2, табл.3 СП16.13330.2017.

#### Раскос:

- сечение - ГСП 120x80x6;
- сталь С355;
- $R_y=350$  Н/мм<sup>2</sup>=3.568 т/см<sup>2</sup> при толщине проката от 2 до 16 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

#### Усилия:

- опорные усилия в поясе (опорный участок у фланца):  $Q=24.25$  т,  $N=-1.61$  т;
- усилия в поясе (опорный участок у раскоса):  $Q=24.17$  т,  $N=-1.61$  т,  $M=0.958$  тм;
- усилия в поясе (первая панель со стороны растянутого раскоса):  $N=-22.8$  т,  $M=1.256$  тм;
- усилия в раскосе:  $N=30.69$  т,  $M=0.819$  тм.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РП3.1	Лист	
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.		Подп.	Дата

### Расчет узла примыкания раскоса к поясу:

Согласно п. 5.2.1 СП16 неподкрепленные узлы ферм, состоящие из двутаврового пояса и примыкающих к нему элементов решетки, следует проверять:

- на отгиб участка полки пояса, контактирующей с элементом решетки;
- несущую способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому элементу решетки;
- несущую способность поперечного сечения пояса;
- несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;
- прочность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу.

### - несущая способность участка пояса на отгиб полки:

Согласно п. 15.2.3 СП 294 в неподкрепленных примыканиях к поясу прямоугольного гнутосварного профиля в К-образных и опорных узлах, при  $s > 15$  мм несущую способность пояса на отгиб полки следует проверять по формуле (103):

$$|N| + |M|/d_b \leq 0.9 \cdot \gamma_c \cdot \left[ \gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2+d_b}}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right],$$

при  $d_b = d$  - по формуле (104):

$$|N| + |M|/d_b \leq \gamma_c \cdot \left[ 3 \cdot \gamma_D \cdot \frac{R_y \cdot t^2 \cdot D}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right],$$

где  $N = 30.69$  т - усилие в элементе решетки;

$M = 0.819$  тм - изгибающий момент в эл-те решетки в плоскости узла в сечении, совпадающем с примыкающей полкой пояса;

$\gamma_c = 0.85$  - коэффициент условий работы;

$\gamma_c = 1.0$  (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

$\gamma_c = 0.85$  (п.15.1.5 абзац 2 СП 294);

$\gamma_D = 1.0$  - так как коэффициент использования первой панели равен  $0.16 < 0.5$ .

Значение коэффициента  $\gamma_D$  принимаем в соответствии с п.15.2.2 СП 294:

$\gamma_D = 1.5 - \sigma/R_y$  - если пояс сжат при  $\sigma/R_y > 0.5$ ;

$\gamma_D = 1$  в прочих случаях;

$R_y = 3.874$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения двутавра пояса;

$t = 9$  мм - толщина полки двутавра пояса;

$D = 150$  мм - ширина полки двутавра пояса;

$t_w = 6$  мм - толщина стенки двутавра пояса;

$r = 13$  мм - радиус закругления пояса

$R_{yd} = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 21.63$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

$d_b = 120$  мм - высота раскоса из ГСП;

$d = 80$  мм - ширина раскоса из ГСП;

$t_d = 6$  мм - толщина раскоса из ГСП;

$\alpha = 46.5^\circ$  - угол примыкания раскоса.

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							6

Для узла 1 примыкающим раскосом является гн  $\square 120 \times 80 \times 6 / \text{С355}$ , следовательно, выполняем расчет по ф.103:

$$|N| + |M|/d_b \leq 0.9 \cdot \gamma_c \cdot \left[ \gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2} + d_b}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$

$$|30.69| + \frac{|0.819|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[ 1.0 \cdot 3.874 \cdot 9^2 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2} + 120}{80 \cdot \sin 46.5^\circ} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80 \right]$$

$$37.515 \text{ т} \leq 41.9 \text{ т}$$

Несущая способность участка пояса на отгиб полки обеспечена.

**- несущая способность участка стенки пояса:**

Согласно п. 15.2.6 СП 294 несущую способность участка стенки двутаврового пояса под действием сжатого элемента решетки из гнутосварного профиля следует проверять по формуле (106):

$$N \cdot \sin \alpha / [10 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot (t + t_d)] \leq 1,$$

Для узла 1 примыкающий раскос является растянутым, следовательно, выполнять расчет по ф.106 нет необходимости:

**- несущая способность поперечного сечения пояса:**

Согласно п. 15.2.7 СП 294 несущую способность двутаврового пояса под действием поперечной силы в узле следует проверять по формуле (108):

$$Q / (\gamma_c \cdot R_s [A - (2 - \chi) \cdot D \cdot t + (t_d + 2 \cdot r) \cdot t]) \leq 1,$$

где  $Q = N \cdot \sin \alpha = 30.69 \cdot \sin 46.5^\circ = 22.26 \text{ т}$  - поперечная сила в узле;

$R_s = 2.247 \text{ т/см}^2$  - расчетное сопротивление сдвигу стали пояса;

$$\chi = 1 / \sqrt{1 + 16 \cdot (g^2 / 3t^2)} = 1 / \sqrt{1 + 16 \cdot (25^2 / (3 \cdot 9^2))} = 0.15$$

$$22.347 / (1.0 \cdot 2.247 \cdot [39.81 - (2 - 0.15) \cdot 150 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$$

$$0.584 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

**- несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу:**

Согласно п. 15.2.8 СП 294 несущую способность двутаврового элемента решетки вблизи примыкания к поясу следует проверять по формуле (109):

$$\frac{N \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \frac{d}{t}\right)}{\gamma_c \cdot \gamma_d \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$$

где  $\gamma_d = 1.0$  - коэффициент влияния знака усилия в элементе (п.14.3.2.2 СП 16);

$\gamma_d = 1.2$  - при растяжении;

$\gamma_d = 1.0$  - при сжатии.

$$\frac{30.69 \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \frac{80}{9}\right)}{1.0 \cdot 1.2 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \leq 1$$

Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата

$$0.508 \leq 1$$

Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу обеспечена.

- несущая способность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу:

Согласно п. 14.3.2.6 СП 294 прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, следует проверять:

- для одностороннего примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (91):

$$\left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 \cdot \frac{D}{t}) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} \leq 1,$$

- для У-образных узлов, а также узлов примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах, при  $g/b > 0,25$  при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (92):

$$\left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{\left[1 + 0,01 \cdot \frac{(3 + 5 \cdot d/D - 0,1 \cdot d_b/t) \cdot D}{t}\right] \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot d_b \cdot \gamma_c \cdot R_{wf}} \leq 1,$$

- проверка для ручной и механизированной сварки при  $d < 1,4$ :

$\beta_f = 0,7$  - по табл.39 СП 16 для ручной и механизированной сварки при  $d < 1,4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16 для проволоки Св-08Г2С;

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2,19 \text{ т/см}^2;$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

$k_f = 5$  мм - катет шва;

$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 25/(120 / \sin 46,5^\circ) = 0,152 < 0,25$ , расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(30,69 + \frac{0,5 \cdot 0,819}{120}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 \cdot 150/9) \cdot \sin 46,5^\circ}{0,7 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 2,19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 46,5^\circ + 80)} = 1,107 \\ 1,107 \leq 1 \end{aligned}$$

Несущая способность сварных швов при применении ручной сварки и механизированной сварки при  $d < 1,4$  не обеспечена.

- проверка для автоматической и механизированной сварки при  $d = 1,4 - 2,0$ :

$\beta_f = 0,9$  - по табл.39 СП 16 для автоматической и механизированной сварки при  $d = 1,4 - 2,0$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16 для проволоки Св-08Г2С;

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2,19 \text{ т/см}^2;$$

Изм. № докл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РП3.1	Лист
							8



$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

$k_f = 7$  мм - катет шва;

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} =$$
$$= \left(30.69 + \frac{0.5 \cdot 0.819}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 46.5^\circ}{0.9 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 46.5^\circ + 80)} = 0.615$$
$$0.615 \leq 1$$

Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при  $d=1.4-2.0$  обеспечена.

### Расчет опорного фланца

- проверка опорного фланца на прочность:

Принимаем опорный фланец из стали С355  $R_y = 3,568$  т/см<sup>2</sup>,  $t = 2,0$  см, шириной  $b=20,0$  см.

В соответствии с СП 16 п.8.5.17 толщина опорного ребра должна быть не менее:

$$t_r \geq 3 \cdot b_r \cdot \sqrt{R_y/E}$$

$b_r = 0.5 \cdot b = 10.0$  см - ширина выступающей части

$$t_r = 2.0 \text{ см} \geq 3 \cdot 10.0 \cdot \sqrt{3.568/2100}$$

$$t_r = 2.0 \text{ см} \geq 1.24 \text{ см}$$

В соответствии с п 8.5.17 СП16 напряжения в опорных сечениях при действии опорной реакции не должны превышать расчетного сопротивления стали:

- смятию  $R_p$  - при длине выступающей части опорного ребра  $a \leq 1,5 \cdot t$ ;

- сжатию  $R_y$  - при длине выступающей части опорного ребра  $a > 1,5 \cdot t$ .

$$a = 4.06 \text{ см} > 1,5 \cdot 2.0 = 3.0 \text{ см}$$

Условие прочности имеет вид:

$$\frac{Q}{b \cdot t} = \frac{24.25}{20.0 \cdot 2.0} = 0.608 \frac{\text{т}}{\text{см}^2} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

$$\frac{24.33}{20.0 \cdot 2.0} \leq 3.568 \cdot 1.0$$

$$0.608 \frac{\text{т}}{\text{см}^2} \leq \frac{3.568 \text{ т}}{\text{см}^2}$$

Прочность опорного участка опорного фланца обеспечена.

- расчет сварных швов крепления пояса к фасонке

Расчет прочности сварных швов выполняем согласно п.14.1.19 СП 16.13330.2017:

$$\tau = \sqrt{(\tau_Q + \tau_{My})^2 + (\tau_N + \tau_{Mx})^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c$$

$\beta_f = 0.7$ ,  $\beta_z = 1.0$  - по табл.39 СП 16.13330.2011 для ручной и механизированной сварки (или порошковой проволокой) при  $d < 1.4$ ;

Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							9

$R_{wf}$  – расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16.13330.2017 для проволоки Св-08Г2С;

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$R_{wz}$  – расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу границы сплавления по табл. 4 СП 16.13330.2017;

$$R_{wz} = 0.45 \cdot R_{un},$$

где  $R_{un}$  – нормативное значение временного сопротивления основного металла  
- для металла фланца С355 при толщине от 16 до 40 мм  $R_{un} = 490 \text{ Н/мм}^2 = 4.995 \text{ т/см}^2$  – табл. В.3 СП 16.13330.2011;

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 4.995 = 2.248 \text{ т/см}^2,$$

- для металла пояса С390Б при толщине до 30 мм  $R_{un} = 520 \text{ Н/мм}^2 = 5.301 \text{ т/см}^2$   
- табл. В.4 СП 16.13330.2011:

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 5.301 = 2.385 \text{ т/см}^2,$$

Так как  $R_{wz} = 2.248 < R_{wz} = 2.385$ , принимаем в расчет границу сплавления по основному металлу фланца.

Так как  $\beta_f \cdot R_{wf} = 0.7 \cdot 2.19 = 1.533 \frac{\text{т}}{\text{см}^2} < \beta_z \cdot R_{wz} = 1.0 \cdot 2.248 = 2.248 \text{ т/см}^2$ ,  
дальнейший расчет ведем по металлу шва.

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{\text{отс}}}{I_f \cdot 2k_f};$$

$$\tau_{Mxf} = 0;$$

$$\tau_{Myf} = 0;$$

$\gamma_c = 1$  – коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16.13330.2017, примечание 5);

$N, Q$  – силы, действующие на сварной шов:

$$N = -1.61 \text{ т};$$

$$Q = 24.25 \text{ т};$$

$S_f^{\text{отс}}$  – статический момент отсеченной части расчетного сечения сварного шва ( $S_f^{\text{отс}} = 236.6 \text{ см}^3$ );

$I_f$  – момент инерции расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при  $\beta_f = 0.7$ ,  $I_f = 4534.9 \text{ см}^4$ );

$k_f = 0.7 \text{ см}$  – катет шва;

$l_w = 72.0 \text{ см}$  – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{1.61}{0.7 \cdot 7 \cdot 72} = 0.05 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{\text{отс}}}{I_f \cdot 2k_f} = \frac{24.25 \cdot 236.6}{4534.9 \cdot 2 \cdot 7} = 0.9 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + 0)^2 + (\tau_{Qf} + 0)^2} = \sqrt{(0.05)^2 + (0.9)^2} = 0.9 \leq 2.19$$

Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. №подл.							
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист 10

Условия выполняются, прочность швов обеспечена.

- расчет опорного сечения верхнего пояса у опорного фланца на срез:

Расчет на прочность элемента при действии в сечении поперечной силы ведем как для балок 1-го класса (в соответствии с п.4.2.7 СП16).

Расчет на прочность в опорном сечении верхнего пояса фермы выполняем в соответствии с п.8.2.1 СП 16 (ф.4.2):

$$\frac{Q \cdot S}{I \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где  $Q = 24.29 \text{ т}$  - опорная реакция фермы;

$S = 154.28 \text{ см}^4$  - статический момент сечения пояса;

$I = 2689,74 \text{ см}^2$  - момент инерции сечения пояса;

$t_w = 6.0 \text{ мм}$  - толщина стенки двутавра пояса;

$R_s = 0.58 \cdot R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247 \text{ т/см}^2$  - расчетное сопротивление стали пояса;

$\gamma_c = 1.0$  - коэффициент условий работы (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

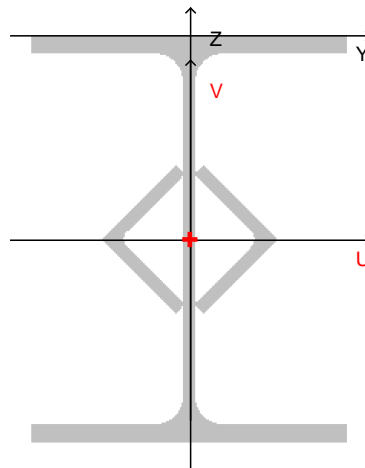
$$\frac{24.25 \cdot 154.28}{2689.74 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 1.032 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения верхнего пояса фермы на срез от действия опорной реакции не обеспечена.

Необходимо усиление опорной части.

- расчет опорного сечения верхнего пояса, усиленного уголками, у опорного фланца на срез:

Выполним расчет геометрических характеристик сечения пояса, усиленного уголками L50x6.



Элемент сечения	Угол	Зеркально
Двутавр балочный широкополочный по ГОСТ Р 57837-2017 20Ш1	0 град	-
Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 L50x6	-45 град	-
Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 L50x6	135 град	-

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							11

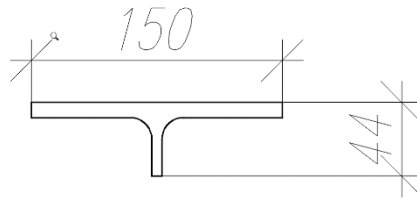
Габариты 150 x 194 мм

**Геометрические характеристики**

	Параметр	Значение	Единица измерения
$A$	Площадь поперечного сечения	50,39	см <sup>2</sup>
$A_{v,y}$	Условная площадь среза вдоль оси $U$	33,75	см <sup>2</sup>
$A_{v,z}$	Условная площадь среза вдоль оси $V$	16,386	см <sup>2</sup>
	Угол наклона главных осей инерции	0	град
$I_y$	Момент инерции относительно центральной оси $Y1$ параллельной оси $Y$	2731,034	см <sup>4</sup>
$I_z$	Момент инерции относительно центральной оси $Z1$ параллельной оси $Z$	569,127	см <sup>4</sup>
$I_f$	Момент инерции при свободном кручении	12,267	см <sup>4</sup>
$i_y$	Радиус инерции относительно оси $Y1$	7,362	см
$i_z$	Радиус инерции относительно оси $Z1$	3,361	см
$W_{u+}$	Максимальный момент сопротивления относительно оси $U$	281,55	см <sup>3</sup>
$W_{u-}$	Минимальный момент сопротивления относительно оси $U$	281,55	см <sup>3</sup>
$W_{v+}$	Максимальный момент сопротивления относительно оси $V$	75,884	см <sup>3</sup>
$W_{v-}$	Минимальный момент сопротивления относительно оси $V$	75,884	см <sup>3</sup>
$W_{pl,u}$	Пластический момент сопротивления относительно оси $U$	327,355	см <sup>3</sup>
$W_{pl,v}$	Пластический момент сопротивления относительно оси $V$	127,814	см <sup>3</sup>
$I_u$	Максимальный момент инерции	2731,034	см <sup>4</sup>
$I_v$	Минимальный момент инерции	569,127	см <sup>4</sup>
$i_u$	Максимальный радиус инерции	7,362	см
$i_v$	Минимальный радиус инерции	3,361	см
$a_{u+}$	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси $Y(U)$	1,506	см
$a_{u-}$	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси $Y(U)$	1,506	см
$a_{v+}$	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси $Z(V)$	5,587	см
$a_{v-}$	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси $Z(V)$	5,587	см
$y_m$	Координата центра масс по оси $Y$	0	см
$z_m$	Координата центра масс по оси $Z$	-9,7	см
$I_1$	Момент инерции относительно глобальной оси $Y$	2731,034	см <sup>4</sup>
$I_2$	Момент инерции относительно глобальной оси $Z$	5310,322	см <sup>4</sup>
$I_p$	Полярный момент инерции	3300,162	см <sup>4</sup>
$i_p$	Полярный радиус инерции	8,093	см
$W_p$	Полярный момент сопротивления	269,152	см <sup>3</sup>

Выполним расчет геометрических характеристик отсеченной части (выше участка стенки, усиленного уголками)

Взам.инв.№  
Подп. и дата  
Инв.№подл.



Площадь:	1632.3374	
Периметр:	376.7747	
Центр масс:	X: 0.0000	Y: 36.3125
Моменты инерции:	X: 2272439.2500	Y: 2534837.0000
Ц/бж. мом. инерции: XY:	0.5000	
Радиусы инерции:	X: 37.3114	Y: 39.4067

Расчет на прочность опорного сечения в стенке над усилением верхнего пояса фермы выполняем в соответствии с п.8.2.1 СП 16 (ф.42):

$$\frac{Q \cdot S}{I \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где  $Q = 24.25 \text{ т}$  – опорная реакция фермы;

$S = 16.32 \cdot 3.631 = 59.258 \text{ см}^3$  – статический момент отсеченной части сечения;

$I = 2731.034 \text{ см}^4$  – момент инерции сечения пояса;

$t_w = 6.0 \text{ мм}$  – толщина стенки двутавра пояса;

$R_s = 0.58 \cdot R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247 \text{ т/см}^2$  – расчетное сопротивление стали пояса;

$\gamma_c = 1.0$  – коэффициент условий работы (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

$$\frac{24.25 \cdot 59.258}{2731.034 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.39 \leq 1$$

Расчет на прочность опорного сечения в месте усиления верхнего пояса фермы выполняем в соответствии с п.8.2.1 СП 16 (ф.42):

$$\frac{Q \cdot S}{I \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где  $Q = 24.25 \text{ т}$  – опорная реакция фермы;

$S = 164.192 \text{ см}^3$  – статический момент отсеченной части сечения;

$I = 2731.034 \text{ см}^4$  – момент инерции сечения пояса;

$t_w = 6.0 + 2 \cdot 9.0 = 24.0 \text{ мм}$  – толщина стенки двутавра пояса;

$R_s = 0.58 \cdot R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247 \text{ т/см}^2$  – расчетное сопротивление стали пояса;

$\gamma_c = 1.0$  – коэффициент условий работы (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

$$\frac{24.25 \cdot 164.192}{2731.034 \cdot 2.4 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.27 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения верхнего пояса фермы на срез от действия опорной реакции обеспечена.

Взам.инв.№	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	

Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							13

## 1.2. Узел №2

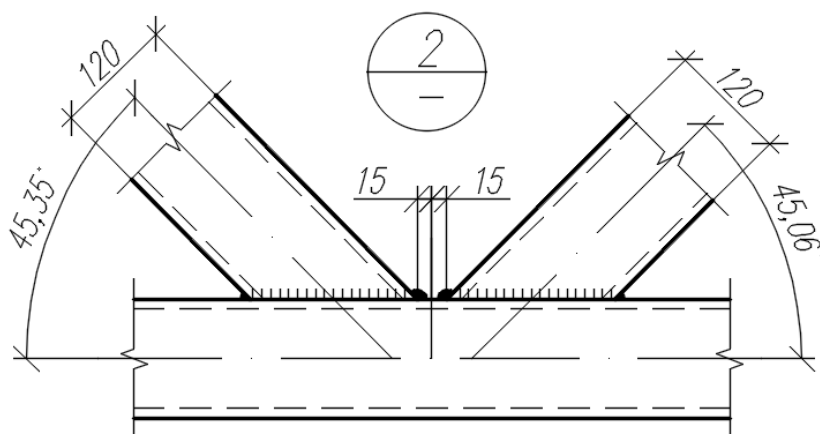


Рис. 1.2.1 Узел 2 фермы ФС-24/2-1,95.

### Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120x7;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Раскос растянутый (левый):

- сечение – ГСП 120x80x6;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу –  $45,35^\circ$ .

Раскос сжатый (правый):

- сечение – ГСП 120x80x6;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу –  $45,06^\circ$ .

Усилия:

- усилия в поясе:  $N = 43.33 \text{ т}$ ;
- усилия в растянутом раскосе:  $N = 30.69 \text{ т}$ ,  $M = 0.819 \text{ тм}$ ;
- усилия в сжатом раскосе:  $N = -29.93 \text{ т}$ ,  $M = 0.343 \text{ тм}$ .

### Расчет узла примыкания раскоса к поясу:

Согласно п. 14.3.1 узлы ферм с непосредственным прикреплением элементов решетки к поясам, следует проверять:

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата

1.01.10-2-РПЗ.1

Лист

14

- несущую способность стенки (полки) пояса, к которой примыкает элемент решетки;
- несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;
- прочность сварных швов.

**- несущая способность стенки пояса:**

В случае одностороннего примыкания к поясу двух и более элементов решетки с усилиями разных знаков, при  $d/D = 80/120 = 0.667 < 0.9$  и  $g/b = 15/168.68 = 0.09 < 0.25$  несущую способность стенки пояса следует проверять для каждого примыкающего элемента по формуле (86):

$$\left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b) f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_a \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2 (b + g + \sqrt{2Df})} \leq 1,$$

где  $d = 80$  мм - ширина раскоса из ГСП;

$D = 120$  мм - ширина пояса из ГСП;

$D_b = 120$  мм - высота пояса из ГСП;

$\gamma_c = 1.0$  - коэффициент условий работы (табл. 1 СП 16, примечание 5);

$\gamma_D = 1.0$  - коэффициент влияния продольной силы в поясе, определяемый при сжатии в поясе если  $|F|/(AR_y) > 0.50$ , по формуле

$$\gamma_D = 1.5 - |F|/(AR_y)$$

в остальных случаях  $\gamma_D = 1.0$ ;

$R_y = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 29.96$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения пояса;

$t = 7.0$  мм - толщина стенки пояса;

$d_b = 120$  мм - высота раскоса из ГСП;

$t_a = 6.0$  мм - толщина раскоса из ГСП;

$\alpha$  - угол примыкания элемента решетки к поясу,  $\alpha = 45.35^\circ$  для растянутого раскоса и  $\alpha = 45.06^\circ$  - для сжатого.

$\gamma_a$  - коэффициент влияния знака усилия в примыкающем элементе принимаемы равным  $\gamma_a = 1.2$  при растяжении и  $\gamma_a = 1.0$  - в остальных случаях (п.14.3.2.2 СП 294).

$R_{ya} = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_a = 21.63$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

$b = d_b / \sin \alpha$  - длина участка пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса (168.68 мм - для растянутого раскоса, 169.53 мм - для сжатого);

$g$  - половина расстояния между смежными стенками элементов решетки;

$$f = (D - d)/2 = (120 - 80)/2 = 20 \text{ мм.}$$

Для растянутого раскоса:

Изм. № докл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							15

$$\left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b) \cdot f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_a \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2(b + g + \sqrt{2Df})} =$$

$$= \left(30.69 + \frac{1.5 \cdot 0.819}{120}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/168.68) \cdot 20 \cdot \sin 45.35^\circ}{1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 7^2(168.68 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 20})}$$

$$= 0.61$$

$$0.61 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

$$\left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b) \cdot f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_a \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2(b + g + \sqrt{2Df})} =$$

$$= \left(29.93 + \frac{1.5 \cdot 0.343}{80}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/169.53) \cdot 20 \cdot \sin 45.06^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 7^2(169.53 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 20})} = 0.62$$

$$0.62 \leq 1$$

Несущая способность стенки пояса обеспечена.

**- несущая способность боковой стенки пояса в плоскости узла:**

Согласно п. 14.3.2.4 СП 294 несущую способность боковой стенки в плоскости узла в месте примыкания сжатого элемента при  $d/D = 80/120 = 0.667 > 0.85$  следует проверять по формуле (88):

$$\frac{N \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t \cdot k \cdot R_y \cdot t \cdot d_b} \leq 1,$$

$d/D = 80/120 = 0.667 < 0.85$ , проверки несущей способности боковой стенки пояса в плоскости узла не требуется.

**- элемент решетки вблизи примыкания к поясу:**

Согласно п. 14.3.2.5 СП 294 несущую способность элемента решетки вблизи примыкания к поясу следует проверять по формуле (89):

$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_a \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} \cdot \frac{3(1 + d/d_b)}{2(2 + d/d_b)} \leq 1$$

где  $k$  - коэффициент, при  $4 \left(\frac{t}{\max(d, d_b)}\right)^2 - \frac{R_y}{E} = 0.008 > 6 \cdot 10^{-4}$ ,  $k = 1$ .

Для растянутого раскоса:

$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_a \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} \cdot \frac{3(1 + d/d_b)}{2(2 + d/d_b)} =$$

$$= \frac{(30.69 + 0.5 \cdot 0.819/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/7) \sin 45.35^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \cdot \frac{3(1 + 80/120)}{2(2 + 80/120)}$$

$$= 0.42$$

$$0.42 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

Име. Неподл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							1.01.10-2-РПЗ.1	Лист 16
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		



$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} \cdot \frac{3(1 + d/d_b)}{2(2 + d/d_b)} =$$

$$= \frac{(29.93 + 0.5 \cdot 0.343/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/7) \sin 45.06^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \cdot \frac{3(1 + 80/120)}{2(2 + 80/120)}$$

$$= 0.46$$

$$0.46 \leq 1$$

Несущая способность элемента решетки вблизи примыкания к поясу обеспечена.

**- сварные швы прикрепления элемента решетки к поясу:**

Согласно п. 14.3.2.6 СП 294 прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, следует проверять:

- для одностороннего примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (91):

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} \leq 1,$$

- проверка для ручной и механизированной сварки при  $d < 1.4$ :

$\beta_f = 0.7$  - по табл.39 СП 1 для ручной и механизированной сварки при  $d < 1.4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5).

$k_f = 0.5$  см - катет шва;

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 15/(120 / \sin 45.35^\circ) = 0.09 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

Для растянутого раскоса:

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)}$$

$$= \left(30.69 + \frac{0.5 \cdot 0.819}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/7) \cdot \sin 45.35^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 45.35^\circ + 80)} = 0.99$$

$$0.99 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)}$$

$$= \left(29.93 + \frac{0.5 \cdot 0.343}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/7) \cdot \sin 45.06^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 45.06^\circ + 80)} = 0.9$$

$$0.9 \leq 1$$

Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при  $d < 1.4$  обеспечена.

Изм. № докл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист 17
			Изм.	№ уч.	Лист.	№ док.		

### 1.3. Узел №3

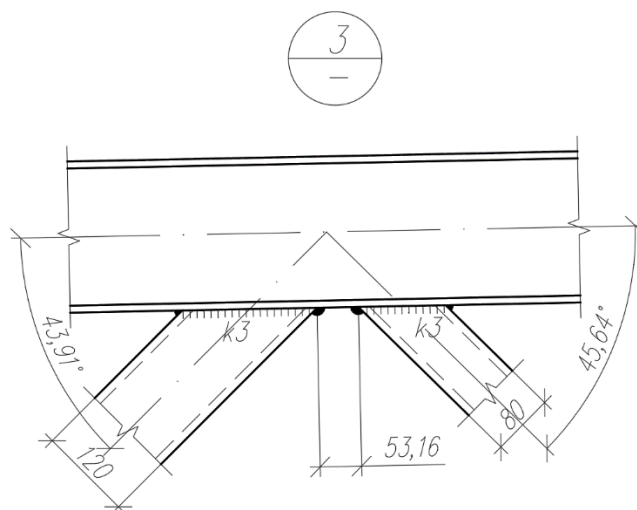


Рис. 1.3.1 Узел 3 фермы ФС-24/2-1,95.

#### Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение - Двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б;
- $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$  при толщине проката  $< 30 \text{ мм}$  по табл. В.4 СП16;

$$- R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 2.250 \text{ т/см}^2 \text{ табл.2, табл.3 СП16.}$$

Раскос сжатый (левый):

- сечение - ГСП 120x80x6;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу -  $43,91^\circ$ .

Раскос растянутый (правый):

- Сечение - ГСП 80x6;
- Сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу -  $45,64^\circ$ .

Усилия:

- усилия в поясе (у сжатого раскоса):  $N = -22.80 \text{ т}$ ,  $M = 1.256 \text{ тм}$ ;
- усилия в поясе (у растянутого раскоса):  $N = -58.05 \text{ т}$ ,  $1.424 \text{ тм}$ ;
- усилия в сжатом раскосе:  $N = -29.93 \text{ т}$ ,  $M = 0.097 \text{ тм}$ ;
- усилия в растянутом раскосе:  $N = 19.69 \text{ т}$ ,  $M = 0.056 \text{ тм}$ .

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РП3.1	Лист 18
------	------	-------	-------	-------	------	-----------------	------------

### Расчет узла примыкания раскоса к поясу

Согласно п. 15.2.1 неподкрепленные узлы ферм, состоящие из двутаврового пояса и примыкающих к нему элементов решетки, следует проверять:

- на отгиб участка полки пояса, контактирующей с элементом решетки;
- несущую способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому элементу решетки;
- несущую способность поперечного сечения пояса;
- несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;
- прочность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу.

#### - участок пояса на отгиб полки у левого (сжатого) раскоса:

Согласно п. 15.2.3 СП 294 в неподкрепленных примыканиях к поясу прямоугольного гнутосварного профиля в К-образных и опорных узлах, при  $s > 15$  мм несущую способность пояса на отгиб полки следует проверять по формуле (103):

$$|N| + |M|/d_b \leq 0.9 \cdot \gamma_c \cdot \left[ \gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2} + d_b}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right],$$

при  $d_b = d$  - по формуле (104):

$$|N| + |M|/d_b \leq \gamma_c \cdot \left[ 3 \cdot \gamma_D \cdot \frac{R_y \cdot t^2 \cdot D}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right],$$

где  $\gamma_c = 1.0$  - коэффициент условий работы (табл. 1 СП 16, примечание 5);  
 $\gamma_D = 1.0$  - так как коэффициент использования участка пояса у раскоса равен  $0.16 < 0.5$ .

Значение коэффициента  $\gamma_D$  принимаем в соответствии с п.15.2.2 СП 294:

$\gamma_D = 1.5 - \sigma/R_y$  - если пояс сжат при  $\sigma/R_y > 0.5$ ;

$\gamma_D = 1.0$  в прочих случаях;

$R_y = 3.874$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения двутавра пояса;

$t = 9.0$  мм - толщина полки двутавра пояса;

$D = 150$  мм - ширина полки двутавра пояса;

$t_w = 6.0$  мм - толщина стенки двутавра пояса;

$r = 13.0$  мм - радиус закругления пояса.

- левый раскос (сжатый):

$d_b = 120$  мм - высота раскоса из ГСП;

$d = 80$  мм - ширина раскоса из ГСП;

$t_d = 6.0$  мм - толщина раскоса из ГСП;

$\alpha = 43.91^\circ$  - угол примыкания раскоса;

$\gamma_d = 1.0$  - коэффициент условий работы (п.14.3.2.2 СП 294);

$R_{yd} = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 16.67$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

- правый раскос (растянутый):

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист 19
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.		

$d_b = 80$  мм - высота раскоса из ГСП;  
 $d = 80$  мм - ширина раскоса из ГСП;  
 $t_d = 6.0$  мм - толщина раскоса из ГСП;  
 $\alpha = 45.64^\circ$  - угол примыкания раскоса;  
 $\gamma_d = 1.2$  - коэффициент условий работы (п.14.3.2.2 СП 294);  
 $R_{yd} = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;  
 $A_d = 16.67$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП.

Для сжатого раскоса:

$$|N| + |M|/d_b \leq 0.9 \cdot \gamma_c \cdot \left[ \gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2} + d_b}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$

$$|29.93| + \frac{|0.097|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[ 1.0 \cdot 3.874 \cdot 9^2 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2} + 120}{80 \cdot \sin 43.91^\circ} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80 \right]$$

$$30.74 \text{ т} \leq 43,11 \text{ т}$$

Для растянутого раскоса, при  $d_b = d$  несущую способность пояса на отгиб полки следует проверять по формуле (104):

$$|N| + |M|/d_b \leq \gamma_c \cdot \left[ 3 \cdot \gamma_D \cdot \frac{R_y \cdot t^2 \cdot D}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$

$$|19.69| + \frac{|0.056|}{80} \leq 1.0 \cdot \left[ 3 \cdot 1.0 \cdot \frac{3.874 \cdot 9^2 \cdot 150}{80 \cdot \sin 45.64^\circ} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80 \right]$$

$$20.390 \text{ т} \leq 41.811 \text{ т}$$

Несущая способность участка пояса на отгиб полки обеспечена.

- участок стенки пояса, соответствующего сжатому (левому) раскосу:

Согласно п. 15.2.6 СП 294 несущую способность участка стенки двутаврового пояса под действием сжатого элемента решетки из гнutosварного профиля следует проверять по формуле (106):

$$N \cdot \sin \alpha / [10 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot (t + t_d)] \leq 1,$$

$$|29.93| \cdot \frac{\sin 43.91^\circ}{[10 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 6)]} \leq 1$$

$$0.6 \leq 1$$

Несущая способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому (левому) раскосу обеспечена.

- поперечное сечение пояса у левого (сжатого) раскоса:

Согласно п. 15.2.7 СП 294 несущую способность двутаврового пояса под действием поперечной силы в узле следует проверять по формуле (108):

$$Q / (\gamma_c \cdot R_s [A - (2 - \chi) \cdot D \cdot t + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t]) \leq 1,$$

где  $Q = N \cdot \sin \alpha$  - поперечная сила в узле;

Изм. № доп.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							20

$$\chi = 1/\sqrt{1 + 16 \cdot (g^2/3t^2)} = 1/\sqrt{1 + 16 \cdot \left(\left(\frac{53.16}{2}\right)^2 / (3 \cdot 9.0^2)\right)} = 0.145$$

$$29.93 \cdot \sin 43.91 / (1.0 \cdot 2.250 \cdot [39.01 - (2 - 0.145) \cdot 15.0 \cdot 0.9 + (0.6 + 2 \cdot 1.3) \cdot 0.9]) \leq 1$$

$$0.548 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

**- поперечное сечение пояса у правого (растянутого) раскоса:**

Согласно п. 15.2.7 СП 294 несущую способность двутаврового пояса под действием поперечной силы в узле следует проверять по формуле (108):

$$Q / (\gamma_c \cdot R_s [A - (2 - \chi) \cdot D \cdot t + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t]) \leq 1,$$

где  $Q = N \cdot \sin \alpha$  - поперечная сила в узле;

$$\chi = 1/\sqrt{1 + 16 \cdot (g^2/3t^2)} = 1/\sqrt{1 + 16 \cdot \left(\left(\frac{53.16}{2}\right)^2 / (3 \cdot 9.0^2)\right)} = 0.145$$

$$19.69 \cdot \sin 45.64^\circ / (1.0 \cdot 2.250 \cdot [39.01 - (2 - 0.145) \cdot 15.0 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$$

$$0.371 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

**- элемент решетки в зоне примыкания к поясу:**

Согласно п. 15.2.8 СП 294 несущую способность двутаврового элемента решетки вблизи примыкания к поясу следует проверять по формуле (109):

$$\frac{N \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \frac{d}{t}\right)}{\gamma_c \cdot \gamma_d \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$$

где  $\gamma_d = 1.0$  - коэффициент влияния знака усилия в элементе (п.14.3.2.2 СП 16):

$\gamma_d = 1.2$  - при растяжении;

$\gamma_d = 1.0$  - при сжатии.

$$\frac{30.57 \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \frac{8.0}{0.84}\right)}{1.0 \cdot 1.2 \cdot 3.568 \cdot 16.67} \leq 1$$

$$0.632 \leq 1$$

Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу обеспечена.

**- сварные швы прикрепления элемента решетки к поясу:**

Согласно п. 14.3.2.6 СП 294 прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, следует проверять:

- для одностороннего примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (91):

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							21

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot \frac{D}{t}) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} \leq 1,$$

- для У-образных узлов, а также узлов примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах, при  $g/b > 0,25$  при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (92):

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{\left[1 + 0.01 \cdot \frac{(3 + 5 \cdot d/D - 0.1 \cdot d_b/t_d) \cdot D}{t}\right] \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot d_b \cdot \gamma_c \cdot R_{wf}} \leq 1,$$

- проверка для ручной и механизированной сварки при  $d < 1.4$ :

$\beta_f = 0.7$  - по табл.39 СП 16 для ручной и механизированной сварки при  $d < 1.4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5).

$k_f = 5$  мм - катет шва;

Для сжатого раскоса:

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 25/(120 / \sin 43.91^\circ) = 0.15 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(29.93 + \frac{0.5 \cdot 0.097}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 43.91^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 43.91^\circ + 80)} = 0.908 \\ 0.908 \leq 1 \end{aligned}$$

Для растянутого раскоса:

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 25/(120 / \sin 43.91^\circ) = 0.15 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(29.93 + \frac{0.5 \cdot 0.097}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 43.91^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 43.91^\circ + 80)} = 0.908 \\ 0.908 \leq 1 \end{aligned}$$

Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при  $d < 1.4$  обеспечена.

Име. Неподл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									22
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РП3.1			

#### 1.4. Узел №4

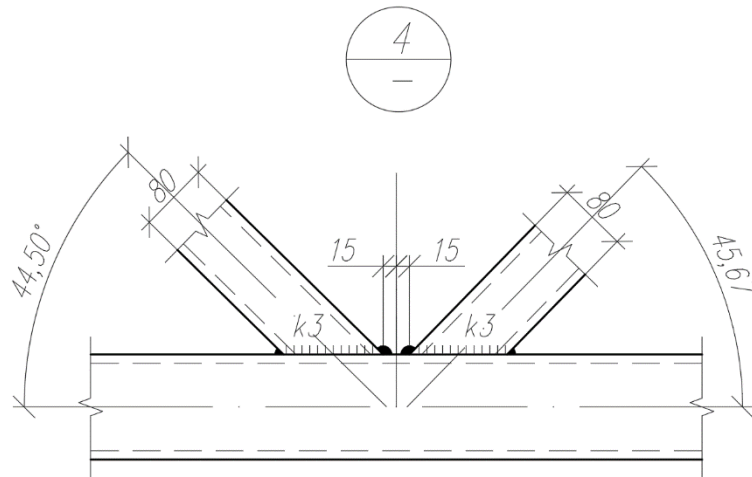


Рис. 1.4.1 Узел 4 фермы ФС-24/2-1,95.

#### Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120x7;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Раскос растянутый (левый):

- сечение – ГСП 80x6;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу –  $44,5^\circ$ .

Раскос сжатый (правый):

- сечение – ГСП 80x6;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу –  $45,67^\circ$ .

Усилия:

- усилия в поясе у растянутого раскоса:  $N = 43.33 \text{ т}$ ;
- усилия в поясе у сжатого раскоса:  $N = 70.63 \text{ т}$ ;
- усилия в растянутом раскосе:  $N = 19.69 \text{ т}$ ,  $M = 0.056 \text{ тм}$ ;
- усилия в сжатом раскосе:  $N = -19.02 \text{ т}$ ,  $M = 0.083 \text{ тм}$ .

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата

1.01.10-2-РПЗ.1

Лист

23

### Расчет узла примыкания раскоса к поясу

Согласно п. 14.3.1 узлы ферм с непосредственным прикреплением элементов решетки к поясам, следует проверять:

- несущую способность стенки (полки) пояса, к которой примыкает элемент решетки;

- несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;

- прочность сварных швов.

- несущая способность стенки пояса:

В случае одностороннего примыкания к поясу двух и более элементов решетки с усилиями разных знаков, при  $d/D = 80/120 = 0.667 < 0.9$  и  $g/b = 15/114.14 = 0.13 < 0.25$  (для растянутого раскоса),  $g/b = 15/111.84 = 0.13 < 0.25$  (для сжатого), несущую способность стенки пояса следует проверять для каждого примыкающего элемента по формуле (86):

$$\left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b) f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_a \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2 (b + g + \sqrt{2Df})} \leq 1,$$

где  $d = 80$  мм - ширина раскоса из ГСП;

$D = 120$  мм - ширина пояса из ГСП;

$D_b = 120$  мм - высота пояса из ГСП;

$\gamma_c = 1.0$  - коэффициент условий работы (табл. 1 СП 16, примечание 5);

$\gamma_D = 1.0$  - коэффициент влияния продольной силы в поясе, определяемый при сжатии в поясе если  $|F|/(AR_y) > 0.50$ , по формуле

$$\gamma_D = 1.5 - |F|/(AR_y)$$

в остальных случаях  $\gamma_D = 1.0$ ;

$R_y = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 29.96$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения пояса;

$t = 7.0$  мм - толщина стенки пояса;

$d_b = 120$  мм - высота раскоса из ГСП;

$t_a = 6.0$  мм - толщина раскоса из ГСП;

$\alpha$  - угол примыкания элемента решетки к поясу,  $\alpha = 44.5^\circ$  для растянутого раскоса и  $\alpha = 45.67^\circ$  - для сжатого;

$\gamma_a$  - коэффициент влияния знака усилия в примыкающем элементе принимаем равным  $\gamma_a = 1.2$  при растяжении и  $\gamma_a = 1.0$  - в остальных случаях (п.14.3.2.2 СП 294);

$R_{ya} = 3.568$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_a = 16.83$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

$b = d_b / \sin \alpha$  - длина участка пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса (114.14 мм - для растянутого раскоса, 111.84 мм - для сжатого);

$g$  - половина расстояния между смежными стенками элементов решетки;

Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата



$$f = (D - d)/2 = (120 - 80)/2 = 20 \text{ мм.}$$

Для растянутого раскоса:

$$\left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b) \cdot f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_d \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2 (b + g + \sqrt{2Df})} =$$

$$= \left(19.96 + \frac{1.5 \cdot 0.056}{80}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/114.14) \cdot 20 \cdot \sin 44.5^\circ}{1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 7^2 (114.14 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 20})}$$

$$= 0.44$$

$$0.44 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

$$\left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b) \cdot f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_d \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2 (b + g + \sqrt{2Df})} =$$

$$= \left(19.02 + \frac{1.5 \cdot 0.083}{80}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/111.84) \cdot 20 \cdot \sin 45.67^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 7^2 (111.84 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 20})} = 0.55$$

$$0.55 \leq 1$$

Несущая способность стенки пояса обеспечена.

- несущая способность боковой стенки пояса в плоскости узла:

Согласно п. 14.3.2.4 СП 294 несущую способность боковой стенки в плоскости узла в месте примыкания сжатого элемента при  $d/D = 80/120 = 0.667 > 0.85$  следует проверять по формуле (88):

$$\frac{N \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t \cdot k \cdot R_y \cdot t \cdot d_b} \leq 1,$$

$d/D = 80/120 = 0.667 < 0.85$ , проверки несущей способности боковой стенки пояса в плоскости узла не требуется.

- элемент решетки вблизи примыкания к поясу:

Согласно п. 14.3.2.5 СП 294 несущую способность элемента решетки вблизи примыкания к поясу следует проверять по формуле (89):

$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$$

где  $k$  - коэффициент, при  $4 \left(\frac{t}{\max(d, d_b)}\right)^2 - \frac{R_y}{E} = 0.02 > 6 \cdot 10^{-4}$ ,  $k = 1$ .

Для растянутого раскоса:

$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} =$$

$$= \frac{(19.69 + 0.5 \cdot 0.056/80) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/7) \sin 44.5^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 16.83} = 0.42$$

$$0.42 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	
Изм.	№уч.
Лист	№доку.
Подп.	Дата
1.01.10-2-РПЗ.1	
	Лист
	25

$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} =$$

$$= \frac{(19.02 + 0.5 \cdot 0.083/80) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/7) \sin 45.67^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 16.83} = 0.46$$

$$0.46 \leq 1$$

Несущая способность элемента решетки вблизи примыкания к поясу обеспечена.

**- сварные швы прикрепления элемента решетки к поясу:**

Согласно п. 14.3.2.6 СП 294 прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, следует проверять:

- для одностороннего примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (91):

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} \leq 1,$$

- проверка для ручной и механизированной сварки при  $d < 1.4$ :

$\beta_f = 0.7$  - по табл.39 СП 16 для ручной и механизированной сварки при  $d < 1.4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5).

$k_f = 0.5$  см - катет шва;

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 15/(80 / \sin 44.5^\circ) = 0.13 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

Для растянутого раскоса:

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)}$$

$$= \left(19.69 + \frac{0.5 \cdot 0.056}{80}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/7) \cdot \sin 44.5^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 80 / \sin 44.5^\circ + 80)} = 0.77$$

$$0.77 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

$$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)}$$

$$= \left(19.02 + \frac{0.5 \cdot 0.083}{80}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/7) \cdot \sin 45.67^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 80 / \sin 45.67^\circ + 80)} = 0.78$$

$$0.78 \leq 1$$

Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при  $d < 1.4$  обеспечена.

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							1.01.10-2-РП3.1	Лист 26
			Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

### 1.5. Узел №5

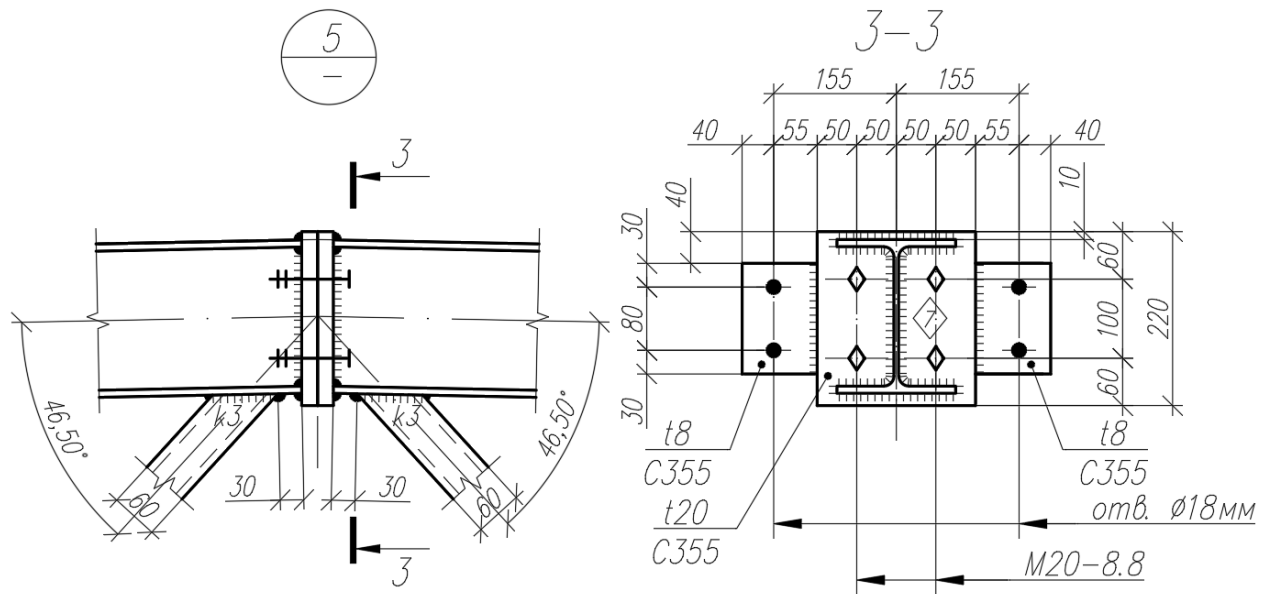


Рис. 1.5.1 Узел 5 фермы ФС-24/2-1,95.

#### Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение - Двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б;
- $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$  при толщине проката <30 мм по табл. В.4 СП16;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 2.250 \text{ т/см}^2$  табл.2, табл.3 СП16.

Раскосы (сжатые):

- сечение - ГСП 60x5;
- сталь С255  $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 4 до 10 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу -  $46,5^\circ$ .

Фланец:

- $t = 20 \text{ мм}$ , сталь С355;
- $R_y = 340 \text{ Н/мм}^2 = 3.466 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 16 до 40 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Усилия:

- усилия в поясе:  $N = -86.86 \text{ т}$ ,  $M = 0.655 \text{ тм}$ ;
- усилия в сжатом раскосе:  $N = -2.49 \text{ т}$ ,  $M = 0.01 \text{ тм}$ ;

#### Расчет узла примыкания раскоса к поясу

Согласно п. 5.2.1 неподкрепленные узлы ферм, состоящие из двутаврового пояса и примыкающих к нему элементов решетки, следует проверять:

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата

1.01.10-2-РП3.1

Лист

27

- на отгиб участка полки пояса, контактирующей с элементом решетки;
- несущую способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому элементу решетки;
- несущую способность поперечного сечения пояса;
- несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;
- прочность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу.

**- несущая способность участка пояса на отгиб полки:**

Согласно п. 15.2.3 СП 294 в неподкрепленных примыканиях к поясу прямоугольного гнутосварного профиля в К-образных и опорных узлах, при  $s \leq 15$  мм несущую способность пояса на отгиб полки следует проверять по формуле (102):

$$|N| + |M|/d_b \leq \gamma_c \cdot \left[ \gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \left( \frac{4}{\sin \alpha} + \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2}}{d_b} \right) + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right],$$

где  $N = -2.49$  т - усилие в сжатом элементе решетки;

$M = 0.01$  тм - изгибающий момент в эл-те решетки в плоскости узла в сечении, совпадающем с примыкающей полкой пояса;

$\gamma_c = 1.0$  - коэффициент условий работы (табл. 1 СП 16, примечание 5);

$\gamma_D = 0.92$  - так как коэффициент использования первой панели равен  $0.58 > 0.5$

Значение коэффициента  $\gamma_D$  принимаем в соответствии с п.15.2.2 СП 294:

$$\gamma_D = 1.5 - \sigma/R_y = 1.5 - 0.58 = 0.92 \text{ - если пояс сжат при } \sigma/R_y > 0.5;$$

$$\gamma_D = 1.0 \text{ в прочих случаях};$$

$R_y = 3.874$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения двутавра пояса;

$t = 9.0$  мм - толщина полки двутавра пояса;

$D = 150$  мм - ширина полки двутавра пояса;

$t_w = 6.0$  мм - толщина стенки двутавра пояса;

$r = 13.0$  мм - радиус закругления пояса

- раскос (сжатый):

$d_b = 60$  мм - высота раскоса из ГСП;

$d = 60$  мм - ширина раскоса из ГСП;

$t_d = 5.0$  мм - толщина раскоса из ГСП;

$\alpha = 46.5^\circ$  - угол примыкания раскоса.

$\gamma_d = 1.0$  - коэффициент условий работы (п.14.3.2.2 СП 294).

$R_{yd} = 2.446$  т/см<sup>2</sup> - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 10.36$  см<sup>2</sup> - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

Для узла 5 примыкающим сжатым раскосом является гн  $\square 60 \times 5 / C255$ , следовательно, выполняем расчет по ф.102:

$$|N| + |M|/d_b \leq \gamma_c \cdot \left[ \gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \left( \frac{4}{\sin \alpha} + \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2}}{d_b} \right) + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$

Инь. Неподл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
								28
Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата			

$$|-2.49| + \frac{|0.01|}{60} \leq 1.0 \cdot \left[ 0.92 \cdot 3.874 \cdot 0.9^2 \cdot \frac{4}{\sin 46.5^\circ} \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2}}{60} + 2.446 \cdot 5 \cdot 60 \right]$$

$$2.657\tau \leq 53.336\tau$$

Несущая способность участка пояса на отгиб полки обеспечена.

**- несущая способность участка стенки пояса:**

Согласно п. 15.2.6 СП 294 несущую способность участка стенки двутаврового пояса под действием сжатого элемента решетки из гнутосварного профиля следует проверять по формуле (106):

$$N \cdot \sin \alpha / [10 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot (t + t_d)] \leq 1$$

$$2.49 \cdot \sin 46.5^\circ / [10 \cdot 1 \cdot 0.92 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 5)] \leq 1$$

$$0.06 \leq 1$$

Несущая способность участка стенки пояса обеспечена.

**- несущая способность поперечного сечения пояса:**

Согласно п. 15.2.7 СП 294 несущую способность двутаврового пояса под действием поперечной силы в узле следует проверять по формуле (108):

$$Q / (\gamma_c \cdot R_s [A - (2 - \chi) \cdot D \cdot t + (t_d + 2 \cdot r) \cdot t]) \leq 1,$$

где  $Q = N \cdot \sin \alpha = 2.49 \cdot \sin 46.5^\circ = 1.81\tau$  - поперечная сила в узле;

$R_s = 2.247 \tau/\text{см}^2$  - расчетное сопротивление сдвигу стали пояса;

$$\chi = 1 / \sqrt{1 + 16 \cdot (g^2 / 3t^2)} = 1 / \sqrt{1 + 16 \cdot (15^2 / (3 \cdot 9^2))} = 0.25$$

Тогда:

$$1.81 / (1.0 \cdot 2.247 \cdot [39.01 - (2 - 0.25) \cdot 150 \cdot 9 + (5 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$$

$$0.044 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

**- несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу:**

Согласно п. 15.2.8 СП 294 несущую способность двутаврового элемента решетки вблизи примыкания к поясу следует проверять по формуле (109):

$$\frac{N \cdot \left(1 + 0.14 \cdot \frac{d}{t}\right)}{\gamma_c \cdot \gamma_d \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$$

где  $\gamma_d = 1.0$  - коэффициент влияния знака усилия в элементе (п.14.3.2.2 СП 16);

$\gamma_d = 1.2$  - при растяжении;

$\gamma_d = 1.0$  - при сжатии.

$$\frac{2.49 \cdot \left(1 + 0.14 \cdot \frac{60}{9}\right)}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 2.446 \cdot 10.36} \leq 1$$

$$0.19 \leq 1$$

Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу обеспечена.

Инь. Неподл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.		Подп.

- несущая способность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу:  
Согласно п. 14.3.2.6 СП 294 прочность сварных швов, прикрепляющих элементы решетки к поясу, следует проверять:

- для одностороннего примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (91):

$$\left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 \cdot \frac{D}{t}) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} \leq 1,$$

- для У-образных узлов, а также узлов примыкания к поясу двух или более элементов решетки с усилиями разных знаков, а также одного элемента в опорных узлах, при  $g/b > 0,25$  при  $d/D \leq 0,9$  и  $g/b \leq 0,25$  по формуле (92):

$$\left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{\left[1 + 0,01 \cdot \frac{(3 + 5 \cdot d/D - 0,1 \cdot d_b/t_d) \cdot D}{t}\right] \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot d_b \cdot \gamma_c \cdot R_{wf}} \leq 1,$$

- проверка для ручной и механизированной сварки при  $d < 1,4$ :

$\beta_f = 0,7$  - по табл.39 СП 16 для ручной и механизированной сварки при  $d < 1,4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2,19 \text{ т/см}^2;$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5).

$k_f = 0,5$  см - катет шва;

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 15/(60 / \sin 46,5^\circ) = 0,18 < 0,25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 \cdot D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(2,49 + \frac{0,5 \cdot 0,01}{60}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 \cdot 150/9) \cdot \sin 46,5^\circ}{0,7 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 2,19 \cdot (2 \cdot 60 / \sin 46,5^\circ + 60)} = 0,15 \\ 0,15 \leq 1 \end{aligned}$$

Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при  $d < 1,4$  обеспечена.

### Расчет фланцевого соединения

Максимальное и минимальное значения нормальных напряжений в присоединяемом профиле от действия изгиба и продольных усилий по формуле 10 Рекомендаций:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{0,655 \cdot 100}{277,3} - \frac{86,86}{39,01} = -2,111 \text{ т/см}^2 \\ \sigma_{\min} &= -\frac{M}{W} + \frac{N}{A} = -\frac{0,655 \cdot 100}{277,3} - \frac{86,86}{39,01} = -2,583 \text{ т/см}^2 \end{aligned}$$

Согласно п. 15.9.6 СП 16, фланцевые соединения, подверженные совместному действию сжатия с изгибом, следует проектировать и рассчитывать по 14.2.

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							30

**- расчет болтов:**

Согласно п.14.2.9 СП 16.13330.2011 расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом:

при срезе

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c ;$$

при смятии

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c ;$$

$R_{bs}=3.384 \text{ т/см}^2$  – табл. Г.5; СП 16.13330.2017;

$R_{bp}=6.575 \text{ т/см}^2$  – табл. Г.6; СП 16.13330.2017;

$A_b=3.14 \text{ см}^2$  – площадь сечения стержня болта друтто, принимаемая согласно табл. Г.9; СП 16.13330.2017;

$d_b=2.0 \text{ см}$  – наружный диаметр стержня болта;

$n_s=1$  – число расчетных срезов одного болта;

$\sum t=2.0 \text{ см}$  – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении;

$\gamma_b=0.9$  – коэффициент условий работы болтового соединения (табл. 41 СП 16.13330.2017);

$\gamma_c=1.0$  – коэффициент условий работы по табл.1 СП 16.13330.2017;

При срезе:

$$N_{bs} = 3.384 \cdot 3.14 \cdot 1 \cdot 0.9 \cdot 1 = 9.56 \text{ т} ;$$

При смятии:

$$N_{bp} = 6.575 \cdot 2.0 \cdot 2.0 \cdot 0.9 \cdot 1 = 23.67 \text{ т} ;$$

Требуемое количество болтов (ф.189 СП 16.13330.2011):

$$n = \frac{N}{N_{b,min}} , \text{ где}$$

$N_{b,min}$  – меньшее из значений расчетного усилия для одного болта.

$N = Q = 3.03 \text{ т}$  – значение поперечной силы в сечении.

$$n = \frac{N}{N_{b,min}} = \frac{3.03}{9.56} = 0.32$$

Количество болтов отвечает прочности соединения.

**- расчет сварных швов крепления пояса к фланцу:**

Расчет прочности сварных швов соединения фланца с элементом конструкции выполняем с учетом глубины проплавления корня шва на 2 мм по двум сечениям (согласно п.5.10 Рекомендаций).

По металлу шва:  $\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w}$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{отс}}{I_f \cdot 2(k_f + 2)}$$

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.		Подп.

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f};$$

По металлу границы сплавления:  $\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c$

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w}$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_z^{отс}}{I_z \cdot 2k_f};$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_z};$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_h = \sqrt{(\tau_{Nh} + \tau_{Mh})^2 + (\tau_{Qh})^2} \leq R_{th} \cdot \gamma_c$$

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w}$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_h^{отс}}{I_h \cdot 2(k_f + 1.4)};$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_h};$$

$\beta_f=0.7, \beta_z=1.0$  - по табл.39 СП 16.13330.2011 для механизированной сварки при  $d < 1.4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16.13330.2011 для проволоки Св-08Г2С.

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$R_{wz}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу границы сплавления по табл. 4 СП 16.13330.2011 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wz} = 0.45 \cdot R_{un},$$

где  $R_{un}$  - нормативное значение временного сопротивления основного металла, для С390Б при толщине проката  $< 30$  мм  $R_{un} = 5.3 \text{ т/см}^2$ ,

тогда

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 5.3 = 2.39 \text{ т/см}^2,$$

- для С355 (фланец) при толщине проката от 16 до 40 мм  $R_{un} = 4.995 \text{ т/см}^2$ ,

Тогда

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 4.995 = 2.25 \text{ т/см}^2;$$

$R_{th}$  - расчетное сопротивление растяжению стали в направлении толщины фланца по табл. 1\* СНиП II-23-81\*:

$$R_{th} = 0.5 \cdot \frac{R_{un}}{\gamma_m} = 0.5 \cdot \frac{4.995}{1.025} = 2.44 \text{ т/см}^2$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5).

$N, Q, M$ , - силы, действующие на сварной шов:

$$N = -86.86 \text{ т};$$

$$M = 0.655 \text{ т} \cdot \text{м};$$

$$Q = 3.03 \text{ т};$$

Изм.	№уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

1.01.10-2-РПЗ.1

Лист

32



$S^{отс}$  – статический момент отсеченной части расчетного сечения сварного шва  
( $S_f^{отс} = 301.4 \text{ см}^3$ ;  $S_z^{отс} = 236.6 \text{ см}^3$ ;  $S_h^{отс} = 282.1 \text{ см}^3$ );

$I_f$  – момент инерции расчетного сечения сварного шва по металлу шва  
(при  $\beta_f = 0.7$ ,  $I_f = 5876.8 \text{ см}^4$ );

$W_f$  – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва  
(при  $\beta_f = 0.7$ ,  $W_f = 605.9 \text{ см}^3$ );

$I_z$  – момент инерции расчетного сечения сварного шва по границе сплавления  
(при  $\beta_z = 1.0$ ,  $I_z = 6478.4 \text{ см}^4$ );

$W_z$  – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по границе сплавления  
(при  $\beta_z = 1.0$ ,  $W_z = 667.9 \text{ см}^3$ );

$I_h = 7817.0 \text{ см}^4$  – момент инерции расчетного сечения сварного шва по металлу шва;

$W_h = 805.9 \text{ см}^3$  – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва.

$k_f = 0.7 \text{ см}$  – катет шва;

$l_w = 72.0 \text{ см}$  – расчетная длина швов в сварном соединении;

По металлу шва:

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{86.86}{0.7 \cdot (7 + 2) \cdot 72} = 1.92 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{отс}}{I_f \cdot 2(k_f + 2)} = \frac{3.03 \cdot 301.4}{5876.8 \cdot 2 \cdot (7 + 2)} = 0.09 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f} = \frac{0.655}{605.9} = 0.11 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2} = \sqrt{(1.92 + 0.11)^2 + (0.09)^2} = 2.02 \leq 2.19$$

По металлу границы сплавления:

$$\tau_{Nz} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{86.86}{1.0 \cdot 7 \cdot 72} = 1.72 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qz} = \frac{Q \cdot S_z^{отс}}{I_z \cdot 2k_f} = \frac{3.03 \cdot 236.6}{6478.4 \cdot 2 \cdot 7} = 0.08 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M}{W_z} = \frac{0.655}{667.9} = 0.10 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} = \sqrt{(1.72 + 0.1)^2 + (0.08)^2} = 1.82 \leq 2.25$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_{Nh} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w} = \frac{86.86}{(7 + 1.4) \cdot 72} = 1.44 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qh} = \frac{Q \cdot S_h^{отс}}{I_h \cdot 2(k_f + 1.4)} = \frac{3.03 \cdot 282.1}{7817 \cdot 2 \cdot (7 + 1.4)} = 0.07 \text{ т/см}^2;$$

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							1.01.10-2-РПЗ.1	Лист 33
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		

$$\tau_{Mh} = \frac{M}{W_h} = \frac{0.655}{805.9} = 0.08 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_h = \sqrt{(\tau_{Nh} + \tau_{Mh})^2 + (\tau_{Qh})^2} = \sqrt{(1.44 + 0.08)^2 + (0.07)^2} = 1.52 \leq 2.44$$

Условия выполняются, прочность швов обеспечена.

- **исключим возможность слоистого разрушения согласно п.13.5 СП 16.13330.2017:**

$$\psi_{zp} \leq \psi_{zh}$$

где  $\psi_{zp}$  - суммарный фактор риска;

$\psi_{zh}$  - нормируемое значение фактора риска для проката в соответствии с ГОСТ 28870;

Расчетное значение  $\psi_{zp}$  следует определять по ф.174 и табл.37 СП 16.13330.2017:

$$\psi_{zp} = \psi_{z\phi} + \psi_{zT} + \psi_{zш} + \psi_{zж} + \psi_{zc}$$

где  $\psi_{z\phi} = 0$  - форма соединения и расположение сварных швов;

$\psi_{zT} = 0.2 \cdot 20 = 4$  - толщина свариваемого проката;

$\psi_{zш} = 0.3 \cdot 7 = 2.1$  - катет шва;

$\psi_{zж} = 5$  - степень жесткости соединения;

$\psi_{zc} = 0$  - влияние технологии сварки (суммарный фактор от количества проходов, последовательности наложения швов и подогрева);

$$\psi_{zp} = 0 + 4 + 2.1 + 5 + 0 = 11.1 < 35$$

Условие выполняется, возможность слоистого разрушения исключена.

- **расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах:**

Прочность фланцевого соединения изгибаемых элементов открытого профиля на действие сдвигающих сил  $Q$ , определим по ф.26 Рекомендаций:

$$Q \leq \mu \cdot N_c$$

$\mu$  - коэффициент трения соединяемых поверхностей фланцев, принимаемый в соответствии с табл.42 СП 16.13330.2011;

Принимаем дробеструйный способ обработки соединяемых поверхностей, тогда  $\mu = 0.58$ ;

$N_c$  - усилие во фланцевом соединении от действия внешней нагрузки, определяемое в соответствии с ф.27 Рекомендаций:

$$N_{c,сж} = \frac{M}{h} - \frac{N}{2} = \frac{0.655 \cdot 100}{19.4} - \frac{86.86}{2} = -40.05 \text{ т/см}^2$$

$$Q = 3.03 \text{ т} \leq 0.58 \cdot 40.05 = 23,23 \text{ т}$$

Условие выполняется, следовательно, прочность фланцевого соединения на сдвиг обеспечена.

Инь. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							34

### 1.6. Узел №6

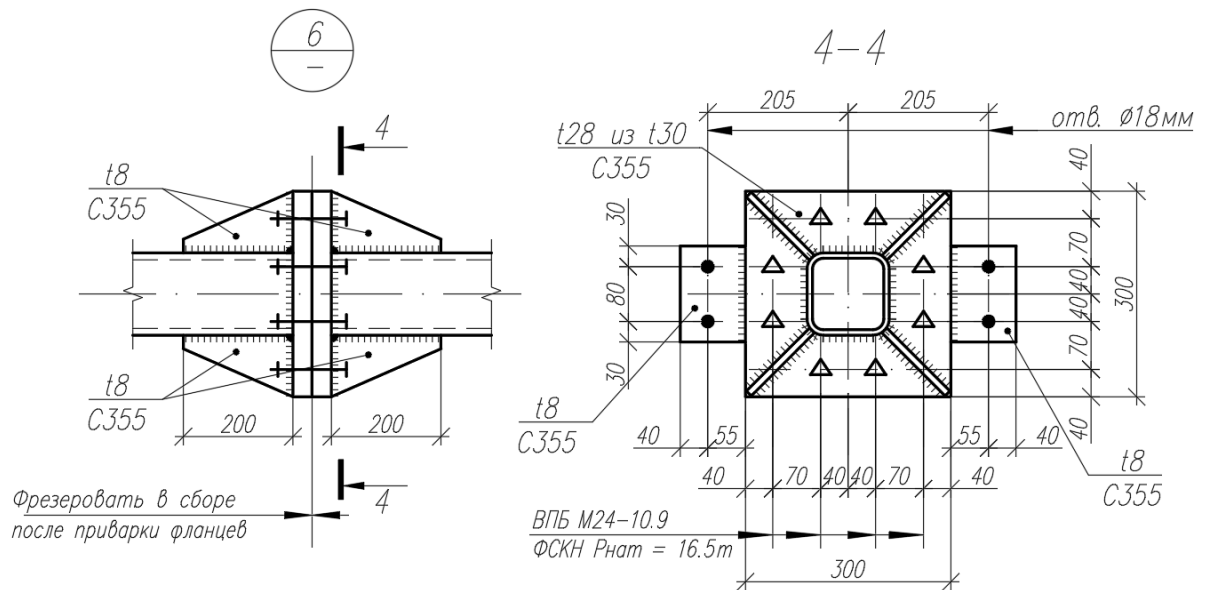


Рис. 1.6.1 Узел 6 фермы ФС-24/2-1,95.

#### Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение - ГСП 120x7;
- сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Фланец:

- $t=28 \text{ мм}$ , сталь С355;
- $R_y = 340 \text{ Н/мм}^2 = 3.466 \text{ т/см}^2$  при толщине проката от 16 до 40 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Болты:

- ВПБ 40X M24 по ГОСТ Р 52643-2006;
- расчетное усилие предварительного натяжения высокопрочного болта -  $V_p = R_{bh} \cdot A_{bh} = 7.69 \cdot 3.53 = 27.15 \text{ т}$  (п.3.2 Рекомендаций);
- $A_{bh} = 3.53 \text{ см}^2$  - площадь сечения болта нетто (Г.9 СП 16.13330.2017);
- $R_{bh} = 7.69 \text{ т/см}^2$  - (Г.8 СП 16.13330.2017);
- усилие предварительного натяжения -  $V_0 = 0.9 \cdot V_p = 0.9 \cdot 27.15 = 24.44 \text{ т}$

Усилия:

- усилия в поясе:  $N = 87.46 \text{ т}$ ,  $M = 0.225 \text{ тм}$ ,  $Q = 0 \text{ т}$ .

#### Расчет фланцевого соединения

Расчетное усилие, воспринимаемое болтами, определим по ф.4 Рекомендаций:

$$T = N_H \cdot n_H > N$$

$n_H = 8$  - число болтов наружной зоны;

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РП3.1	Лист
							35
Инь.Неподл.	Подп. и дата	Взам.инв.№					

$$N_H = \min(N_6, N_\phi)$$

$N_6 = \lambda \cdot B_p$  - по ф.5 Рекомендаций

$N_\phi = 1.3 \cdot \frac{\alpha+1}{\mu \cdot \alpha} \cdot B_p$  - по ф.8 Рекомендаций

$\lambda_i = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg x_i$  - по ф.6 Рекомендаций

$x_i = \frac{d^2}{w_i \cdot (t+d/2)} \cdot \left(\frac{b_i}{t}\right)^3$  - по ф.7 Рекомендаций

$d = 2.4$  см - диаметр стержня болта;

$t = 2.8$  см - толщина фланца;

$w_i = 6.5$  см - ширина фланца, приходящаяся на один болт наружной зоны T-образного участка фланца;

$b_i = 4.4$  см - расстояние от оси болта до края сварного шва растянутого пояса;

$$x_i = \frac{d^2}{w_i \cdot (t+d/2)} \cdot \left(\frac{b_i}{t}\right)^3 = \frac{2.4^2}{12.9 \cdot (2.8 + 2.4/2)} \cdot \left(\frac{4.4}{2.8}\right)^3 = 0.433$$

$$\lambda_i = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg x_i = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg 0.433 = 0.594$$

$$M_i = \frac{w_i \cdot t^2}{6} \cdot R_y = \frac{12.9 \cdot 2.8^2}{6} \cdot 3.466 = 58.42 \text{ Т} \cdot \text{см}$$

$$\mu = \frac{0.9 \cdot B_p \cdot b_i}{M_i} = \frac{0.9 \cdot 27.15 \cdot 4.4}{58.42} = 1.84$$

$\alpha = 2.09$  - по табл.4 Рекомендаций;

$$N_6 = \lambda \cdot B_p = 0.594 \cdot 27.15 = 16.138 \text{ Т}$$

$$N_\phi = 1.3 \cdot \frac{\alpha+1}{\mu \cdot \alpha} \cdot B_p = 1.3 \cdot \frac{2.09+1}{1.84 \cdot 2.09} \cdot 27.15 = 28.35 \text{ Т}$$

$$T = N_H \cdot n_H = 16.138 \cdot 8 = 129.1 \text{ Т} > 87.46 \text{ Т}$$

Условие выполняется, следовательно, прочность фланцевого соединения обеспечена.

**- расчет сварных швов крепления балки к фланцу:**

Расчет прочности сварных швов соединения фланца с элементом конструкции выполняем с учетом глубины проплавления корня шва на 2мм по двум сечениям (согласно п.5.10 Рекомендаций).

По металлу шва:  $\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w};$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{\text{отс}}}{I_f \cdot 2 \cdot (k_f + 2)};$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f};$$

По металлу границы сплавления:  $\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c$

$$\tau_{Nz} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w};$$

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.		

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_z^{отс}}{I_z \cdot 2k_f};$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_z};$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_h = \sqrt{(\tau_{Nh} + \tau_{Mh})^2 + (\tau_{Qh})^2} \leq R_{th} \cdot \gamma_c$$

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w};$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_h^{отс}}{I_h \cdot 2(k_f + 1.4)};$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_h};$$

$\beta_f = 0.7$ ,  $\beta_z = 1.0$  - по табл.39 СП 16.13330.2011 для механизированной сварки при  $d < 1.4$ ;

$R_{wf}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16.13330.2011 для проволоки Св-08Г2С.

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$R_{wz}$  - расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу границы сплавления по табл. 4 СП 16.13330.2011 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wz} = 0.45 \cdot R_{un},$$

где  $R_{un}$  - нормативное значение временного сопротивления основного металла, для С355 при толщине проката от 2,0 до 16 мм  $R_{un} = 4.995 \text{ т/см}^2$ ,

тогда

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 4.995 = 2.25 \text{ т/см}^2,$$

- для С355 при толщине проката от 16 до 40 мм  $R_{un} = 4.995 \text{ т/см}^2$ ,

тогда

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 4.995 = 2.25 \text{ т/см}^2;$$

$R_{th}$  - расчетное сопротивление растяжению стали в направлении толщины фланца по табл. 1\* СНиП II-23-81\*:

$$R_{th} = 0.5 \cdot \frac{R_{un}}{\gamma_m} = 0.5 \cdot \frac{4.995}{1.025} = 2.44 \text{ т/см}^2$$

$\gamma_c = 1$  - коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5);

$N, Q, M$ , - силы, действующие на сварной шов:

$$N = +87.46 \text{ т};$$

$$M = 0.225 \text{ т} \cdot \text{м};$$

$$Q = 0 \text{ т};$$

$W_f$  - момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при  $\beta_f = 0.7$ ,  $W_f = 329.15 \text{ см}^3$ );

$W_z$  - момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу границы сплавления (при  $\beta_z = 1.0$ ,  $W_z = 352.99 \text{ см}^3$ );

$W_h = 435.06 \text{ см}^3$  - момент сопротивления расчетного сечения шва по металлу шва;

Изм. № докл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
			Изм.	№ уч.	Лист	№ док.		Подп.

$k_f=0.6$  см – катет шва;

$l_w=136.0$  см – расчетная длина швов в сварном соединении;

По металлу шва:

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{87.46}{0.7 \cdot (7 + 2) \cdot 136} = 1.15 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f} = \frac{0.225}{329.15} = 0.07 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2} = \sqrt{(1.15 + 0.07)^2} = 1.22 \leq 2.19$$

По металлу границы сплавления:

$$\tau_{Nz} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{87.46}{1.0 \cdot 6 \cdot 136} = 1.53 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M}{W_z} = \frac{0.225}{352.99} = 0.06 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2} = \sqrt{(1.53 + 0.06)^2} = 1.82 \leq 2.25$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_{Nh} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w} = \frac{87.46}{(7 + 1.4) \cdot 136} = 1.24 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mh} = \frac{M}{W_h} = \frac{0.225}{435.06} = 0.05 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_h = \sqrt{(\tau_{Nh} + \tau_{Mh})^2} = \sqrt{(1.24 + 0.05)^2} = 1.29 \leq 2.44$$

Условия выполняются, прочность швов обеспечена.

**– расчет сварных швов крепления ребер жесткости к поясу:**

Так как  $\beta_f \cdot R_{wf} = 0.7 \cdot 2.19 = 1.53 < \beta_z \cdot R_{wz} = 1.0 \cdot 2.2 = 2.2$ ,

дальнейший расчет ведем по металлу шва.

$\beta_f=0.7$ ,  $\beta_z=1.0$  – по табл.39 СП 16.13330.2017 для механизированной сварки при  $d < 1.4$ ;

$R_{wf}$  – расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16.13330.2017 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2;$$

$R_{wz}$  – расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу границы сплавления по табл. 4 СП 16.13330.2017 для проволоки Св-08Г2С

$$R_{wz} = 0.45 \cdot R_{un}$$

где  $R_{un}$  – нормативное значение временного сопротивления основного металла, для С355 при толщине от 2 до 16 мм  $R_{un} = 490 \text{ Н/мм}^2 = 4.99 \text{ т/см}^2$  – табл. В.3 СП 16.13330.2017;

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 4.99 = 2.2 \text{ т/см}^2;$$

Крепление ребер жесткости к поясу осуществляется при помощи сварки.

Изм. № докл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
			Изм.	№ уч.	Лист.	№ док.		

Сварной шов работает на сжатие от действия силы  $N$ . Условие прочности имеет вид:

$$\tau_{Nf} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c;$$

где:

$\tau_{Nf}$  – напряжение в металле шва от действия сжимающей силы;

$$\tau_{Nf} = \frac{N_{\phi}}{\beta_f \cdot k_f \cdot 8l_w};$$

$N$  – усилие в поясе;

$k_{fp}=0.6$  см – катет шва;

$l_{wp}=18$  см – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{87.46}{0.7 \cdot 0.6 \cdot 8 \cdot 18} = 1.45 \text{ т/см}^2$$

Таким образом:

$$\tau_{Nf} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_{Nf} = 1.45 \text{ т/см}^2 < 2.19 \text{ т/см}^2.$$

Прочность сварных швов крепления ребер жесткости к поясу обеспечена.

- исключим возможность слоистого разрушения согласно п.13.5 СП 16.13330.2011:

$$\psi_{zp} \leq \psi_{zh}$$

где  $\psi_{zp}$  – суммарный фактор риска;

$\psi_{zh}$  – нормируемое значение фактора риска для проката в соответствии с ГОСТ 28870;

Расчетное значение  $\psi_{zp}$  следует определять по ф.174 и табл.37 СП 16.13330.2011:

$$\psi_{zp} = \psi_{z\phi} + \psi_{zT} + \psi_{zш} + \psi_{zж} + \psi_{zс}$$

где  $\psi_{z\phi} = 0$  – форма соединения и расположение сварных швов;

$\psi_{zT} = 0.2 \cdot 28 = 5.6$  – толщина свариваемого проката;

$\psi_{zш} = 0.3 \cdot 6 = 1.8$  – катет шва;

$\psi_{zж} = 5$  – степень жесткости соединения;

$\psi_{zс} = 0$  – влияние технологии сварки (суммарный фактор от количества проходов, последовательности наложения швов и подогрева);

$$\psi_{zp} = 0 + 5.6 + 1.8 + 5 + 0 = 12.4 < 35$$

- расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах:

Прочность фланцевого соединения изгибаемых элементов открытого профиля на действие сдвигающих сил  $Q$ , определим по ф.24 Рекомендаций:

$$Q \leq \mu \cdot n \cdot N_i$$

$\mu$  – коэффициент трения соединяемых поверхностей фланцев, принимаемый в соответствии с табл.42 СП 16.13330.2011;

Принимаем дробеструйный способ обработки соединяемых поверхностей, тогда  $\mu = 0.58$ ;

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
							39

$n$  - количество болтов;

$N_i = 0.1B_0 = 0.1 \cdot 24.44 = 2.444$  т - контактные усилия;

$Q = 0.1\mu \cdot N = 0.1 \cdot 0.58 \cdot 87.46 = 5.073$  т - условное значение местной поперечной силы.

$$5.073 \text{ т} \leq 0.58 \cdot 8 \cdot 2.44 = 11.32 \text{ т}$$

$$5.073 \text{ т} \leq 11.32 \text{ т}$$

Условие выполняется, следовательно, прочность фланцевого соединения на сдвиг обеспечена.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.10-2-РПЗ.1	Лист
								40
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата			



## 2. ВЫВОДЫ

Анализ результатов расчёта для рассмотренных узлов и соединений, а также сопоставление их с исходными данными для рассматриваемых фрагментов позволяет сделать следующие выводы:

1) Проверка узлов и соединений для конструкций стропильных ферм показала, что назначенные сечения являются достаточными для восприятия всех видов нагрузок и воздействий, предусмотренных Альбомом. В корректировке параметров сечений элементов, принятых в Альбоме, по результатам расчёта узлов и соединений нет необходимости.

2) Несущая способность запроектированных в Альбоме узлов и соединений является достаточной для восприятия всех видов нагрузок и воздействий, предусмотренных Альбомом, и удовлетворяет всем требованиям по прочности и устойчивости. В корректировке принятых в Альбоме параметров узлов и соединений нет необходимости.

3) Принятые в Альбоме решения по узлам и соединениям конструкций покрытия обеспечивают возможность и доступность изготовления и провоза, а также проведения сборки и монтажа конструкций.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			1.01.10-2-РПЗ.1						
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата				

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

[1] ГОСТ 27751-2014 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения», Москва: Стандартинформ, 2015.

[2] СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями №1,2)», Москва: Минстрой России, 2016.

[3] СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-0-81\*», Москва: Минстрой России, 2017.

[4] СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования», Москва: Минстрой России, 2017.

[5] «Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций», Москва: ГОССТРОЙ СССР, 1989.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			1.01.10-2-РПЗ.1						
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата				