

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

**1.01.08-У2-2-РПЗ.1
Расчёт узлов конструкций покрытия.**

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

2023

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/2-1,95.....	4
1.1. Узел №1.....	5
1.2. Узел №2	16
1.3. Узел №3	20
1.4. Узел №4	25
1.5. Узел №5	29
1.6. Узел №6	37
2. ВЫВОДЫ	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:.....	41

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №	
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							2
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата		

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–1.01.08-У2-2-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).

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	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).					
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1		Лист
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата			3

1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/2-1,95

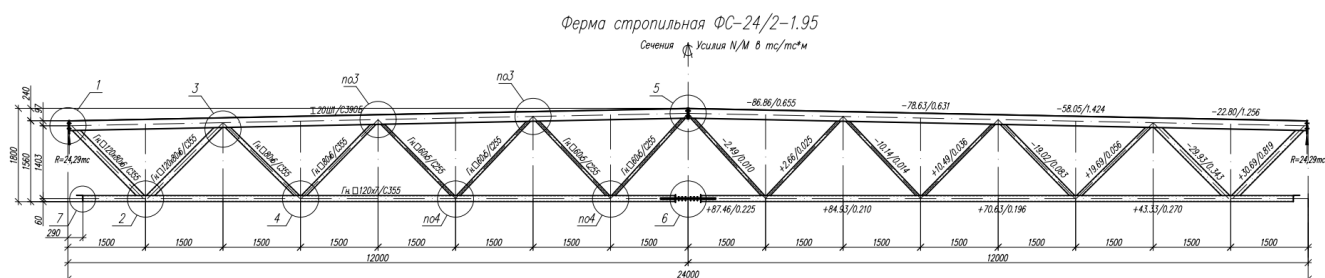


Рис. 1.1 Ферма ФС-24/2-1,95.

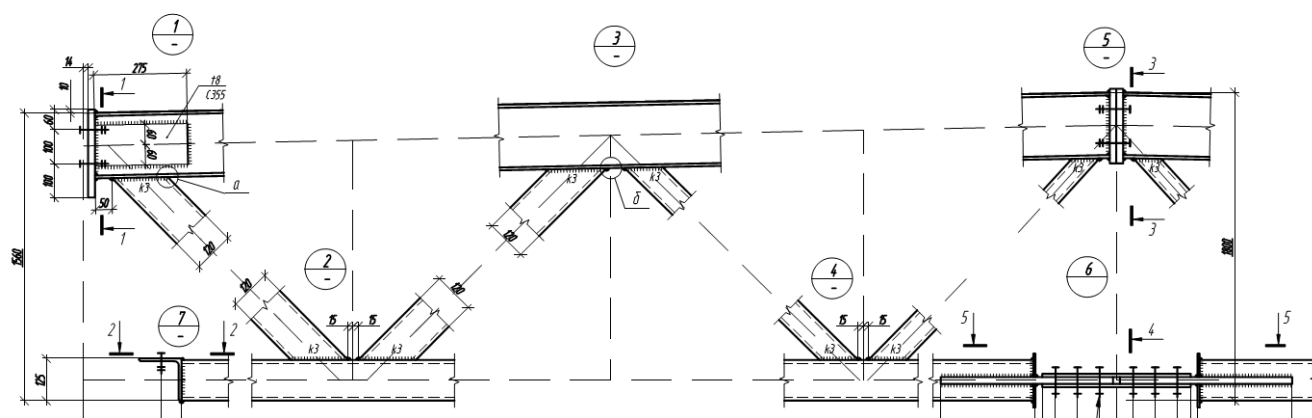


Рис. 1.2 Узлы фермы ФС-24/2-1,95.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

1.01.08-У2-2-РПЗ.1

Лист

4

1.1. Узел №1

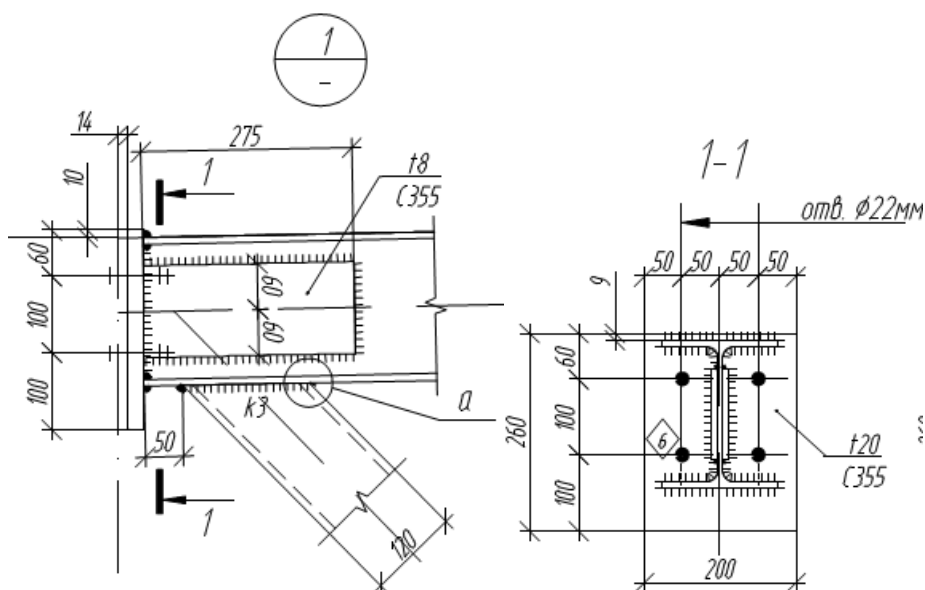


Рис. 1.1.1 Узел 1 фермы ФС-24/2-1,95.

Исходные данные:

Опорный фланец:

- $t = 2,0$ см шириной $b=20,0$ см;
- сталь С355, $R_y=350$ Н/мм²=3.568 т/см².

Верхний пояс (ВП):

- сечение - Двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б;
- $R_y=380$ Н/мм²=3.874 т/см² 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/мм² = 2.250 т/см² табл.2, табл.3 СП16.13330.2017.

Раскос:

- сечение - ГСП 120x80x6;
- сталь С355;
- $R_y=350$ Н/мм²=3.568 т/см² 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.

Расчет узла примыкания раскоса к поясу:

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							5

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 γ_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/см² - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$ см² - 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/см² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 21.63$ см² - 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.

Взам. инв. №		$t = 9 \text{ мм}$ - толщина полки двутавра пояса; $D = 150 \text{ мм}$ - ширина полки двутавра пояса; $t_w = 6 \text{ мм}$ - толщина стенки двутавра пояса; $r = 13 \text{ мм}$ - радиус закругления пояса $R_{yd} = 3.568 \text{ т/см}^2$ - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП; $A_d = 21.63 \text{ см}^2$ - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП; $d_b = 120 \text{ мм}$ - высота раскоса из ГСП; $d = 80 \text{ мм}$ - ширина раскоса из ГСП; $t_d = 6 \text{ мм}$ - толщина раскоса из ГСП; $\alpha = 46.5^\circ$ - угол примыкания раскоса.					
		Подп. и дата					
Инв. №подл.							
		Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата

Для узла 1 примыкающим раскосом является гн $\square 120 \times 80 \times 6 / C355$, 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.

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	- 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. $\frac{30.69 \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \frac{80}{9}\right)}{1.0 \cdot 1.2 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \leq 1$																				
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">1.01.08-У2-2-РПЗ.1</td><td>Лист</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>№уч.</td><td>Лист</td><td>№док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>7</td></tr></table>															1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист	Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	7
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист																
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата		7																

$$0.508 \leq 1$$

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):

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

- 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);

$k_f = 5 \text{ мм}$ - 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.

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(30.69 + \frac{0.5 \cdot 0.819}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 46.5^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 46.5^\circ + 80)} = 1.107 \\ 1.107 \leq 1 \end{aligned}$$

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.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
Изм. и дата							
Взам. инв. №							
$120 \quad) \quad 0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 46.5^\circ + 80)$ $1.107 \leq 1$ Несущая способность сварных швов при применении ручной сварки и механизированной сварки при $d < 1.4$ <u>не обеспечена</u>. - 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; $R_{wf} = 215 \text{ Н/мм}^2 = 2.19 \text{ т/см}^2$;							

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;

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

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

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	шва ($S_f^{отс} = 236.6 \text{ см}^3$); 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; $\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{1.61}{0.7 \cdot 7 \cdot 72} = 0.05 \text{ т/см}^2;$ $\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{отс}}{I_f \cdot 2k_f} = \frac{24.25 \cdot 236.6}{4534.9 \cdot 2 \cdot 7} = 0.9 \text{ т/см}^2;$ $\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + 0)^2 + (\tau_{Qf} + 0)^2} = \sqrt{(0.05)^2 + (0.9)^2} = 0.9 \leq 2.19$						
Изм.	№уч.	Лист.	№доку.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-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);

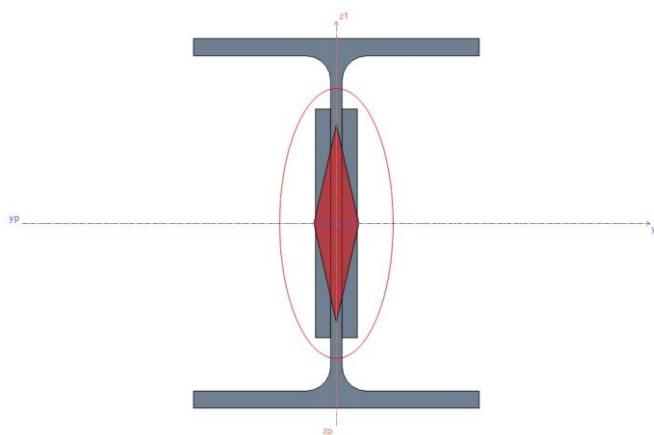
$$\frac{24.25 \cdot 154.28}{2689.74 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 1.032 \leq 1$$

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

Необходимо усиление опорной части.

- расчет опорного сечения верхнего пояса, с усилением стенки, у опорного фланца на срез:

1 вариант - усиление пластинами



Элемент сечения	Зеркально
Двутавр балочный широкополочный по ГОСТ Р 57837-2017 20Ш1	-
Пластина 120х8	-
Пластина 120х8	-

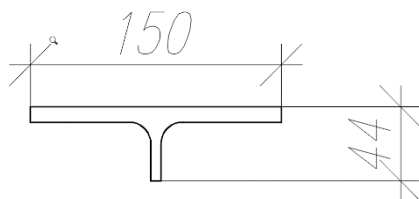
Габариты 150 x 194 мм

Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. №подл.		1.01.08-У2-2-РПЗ.1					Лист
											11
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата						

Геометрические характеристики

Название	Обозначения	Значение	Единицы измерения
Координата Y центра тяжести в глобальной системе координат	Y_c	0	см
Координата Z центра тяжести в глобальной системе координат	Z_c	0	см
Площадь поперечного сечения	F	58.29763	см ²
Момент инерции относительно вспомогательной оси Y2	I_{y2}	2926.17385	см ⁴
Момент инерции относительно вспомогательной оси Z2	I_{z2}	517.65645	см ⁴
Центробежный момент инерции относительно вспомогательных осей Y2 и Z2	I_{y2z2}	0	см ⁴
Радиус инерции относительно вспомогательной оси Y2	r_{y2}	7.08475	см
Радиус инерции относительно вспомогательной оси Z2	r_{z2}	2.97986	см
Угол поворота главных центральных осей инерции по отношению к вспомогательным осям Y2 и Z2	ϕ	0	°
Габаритная ширина поперечного сечения в глобальной системе координат	b	15	см
Габаритная высота поперечного сечения в глобальной системе координат	h	19.4	см
Периметр внешнего контура	P_{ext}	146.53459	см
Периметр внутренних контуров	P_{int}	0	см
Полный периметр	P_{all}	146.53459	см

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



Площадь: 1632.3374
Периметр: 376.7747

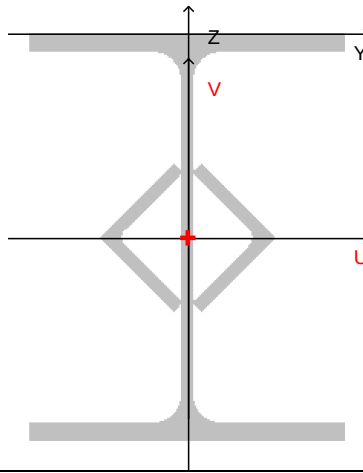
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист 12

Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата

Взам.инв.№

Подп. и дата

Изм. №уч. Лист №док. Подп. Дата



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	-

Габариты 150 x 194 мм

Геометрические характеристики			
	Параметр	Значение	Единица измерения
A	Площадь поперечного сечения	50,39	см ²
A _{v,y}	Условная площадь среза вдоль оси U	33,75	см ²
A _{v,z}	Условная площадь среза вдоль оси V	16,386	см ²
	Угол наклона главных осей инерции	0	град
I _y	Момент инерции относительно центральной оси Y1 параллельной оси Y	2731,034	см ⁴
I _z	Момент инерции относительно центральной оси Z1 параллельной оси Z	569,127	см ⁴
I _t	Момент инерции при свободном кручении	12,267	см ⁴
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 ³
W _{u-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси U	281,55	см ³
W _{v+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси V	75,884	см ³
W _{v-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси V	75,884	см ³
W _{pl,u}	Пластический момент сопротивления относительно оси U	327,355	см ³
W _{pl,v}	Пластический момент сопротивления относительно оси V	127,814	см ³
I _u	Максимальный момент инерции	2731,034	см ⁴
I _v	Минимальный момент инерции	569,127	см ⁴
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

Взам. инв. №		W_{u+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси U	281,55	см ³		
		W_{u-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси U	281,55	см ³		
Подп. и дата		W_{v+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси V	75,884	см ³		
		W_{v-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси V	75,884	см ³		
		$W_{pl,u}$	Пластический момент сопротивления относительно оси U	327,355	см ³		
		$W_{pl,v}$	Пластический момент сопротивления относительно оси V	127,814	см ³		
		I_u	Максимальный момент инерции	2731,034	см ⁴		
		I_v	Минимальный момент инерции	569,127	см ⁴		
		i_u	Максимальный радиус инерции	7,362	см		
		i_v	Минимальный радиус инерции	3,361	см		
Инв. №подл.		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		
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							14
Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

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

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;

$$t_w = 6.0 + 2 * 9.0 = 24.0 \text{ мм} - \text{толщина стенки двутавра пояса};$$
$$R_s = 0.58 \cdot R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247 \text{ Т/см}^2 \text{ - расчетное сопротивление стали пояса;}$$

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

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

[illegible]

1.2. Узел №2

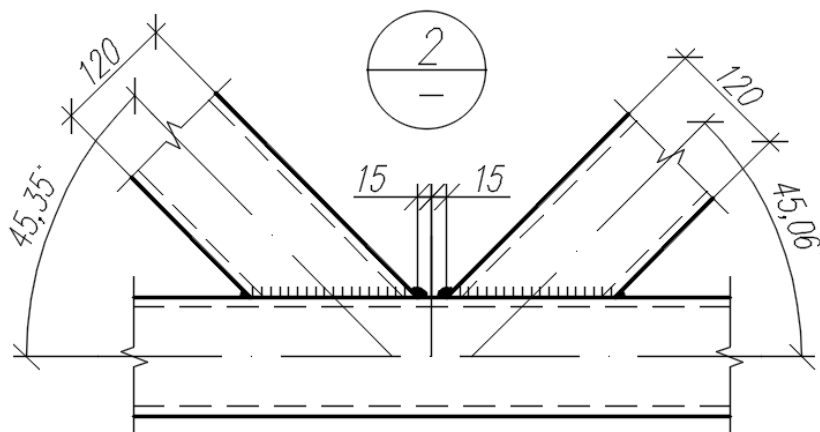


Рис. 1.2.1 Узел 2 фермы ФС-24/2-1,95.

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	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист 16

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

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

$$= 0.61$$

$$0.61 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$0.62 \leq 1$$

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):

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

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:

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

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

$$= 0.42$$

$$0.42 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

Имя, Подп., дата	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
	Имя, Подп.					
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1
						Лист 18

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

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

$$= 0.46$$

$$0.46 \leq 1$$

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.

Взам. инв. №		$0.99 \leq 1$						Лист	
Подп. и дата		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.						Лист	
Инв. №подл.								1.01.08-У2-2-РПЗ.1	19
		Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

1.3. Узел №3

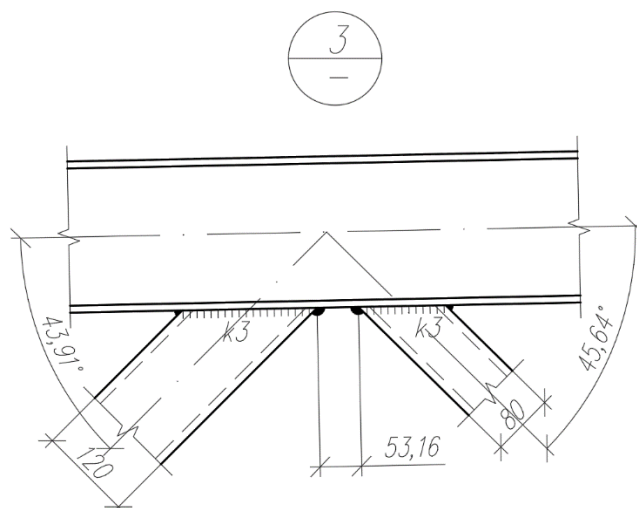


Рис. 1.3.1 Узел 3 фермы ФС-24/2-1,95.

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 120х80х6;
- 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 80х6;
- 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 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.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							20

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 γ_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/см² - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$ см² - 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/см² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 21.63$ см² - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

- правый раскос (растянутый):

Взам. инв. №		$t_w = 6.0$ 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 ² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП; $A_d = 21.63$ см ² - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП; - правый раскос (растянутый):					
		Подп. и дата					
Инв. №подл.							
		Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата

$A_d = 16.67 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения раскоса из ГСП.

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

Взам. инв. №	$[29.93] \cdot \frac{1}{[10 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 6)]} \leq 1$ $0.6 \leq 1$ Несущая способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому (левому) расколу обеспечена.						
	Подп. и дата	- 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;					
Инв. №подл.							
	Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1

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

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

$$0.548 \leq 1$$

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):

Взам. инв. №	$1.0 \cdot 1.2 \cdot 3.568 \cdot 16.67 = 1$ $0.632 \leq 1$						Лист
	Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу обеспечена.						
Подп. и дата	- 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):						23
	1.01.08-У2-2-РПЗ.1						
Инв. №подл.	Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	

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

- 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:

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 25/(80 / \sin 45.64^\circ) = 0.203 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(19.69 + \frac{0.5 \cdot 0.056}{80}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 45.64^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 80 / \sin 45.64^\circ + 80)} = 0.796 \\ 0.796 \leq 1 \end{aligned}$$

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

Изм.		№уч.		Лист.		№док.		Подп.		Дата		1.01.08-У2-2-РПЗ.1		Лист	
														24	
Инев.Неподл.		Подп. и дата										Взам.инв.№			
$0.796 \leq 1$ Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при $d < 1.4$ обеспечена.															

1.4. Узел №4

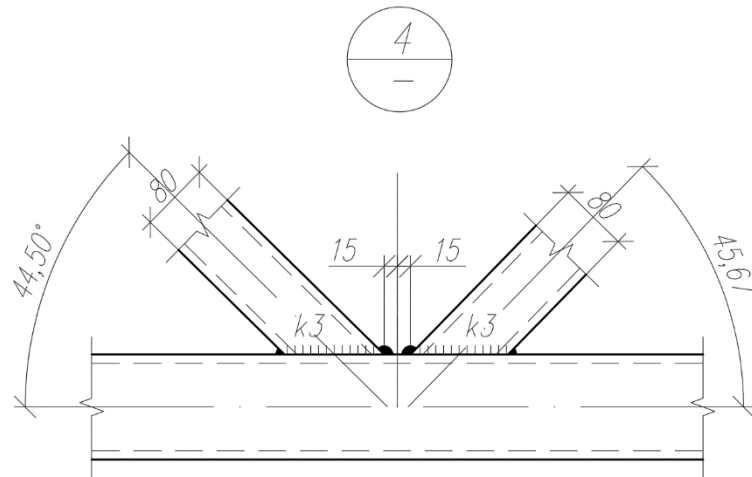


Рис. 1.4.1 Узел 4 фермы ФС-24/2-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120х7;
- 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 80х6;
- 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°.

Раскос сжатый (правый):

- сечение – ГСП 80х6;
- 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°.

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. Неодп.							
- 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: $N = -19.02 \text{ т}$, $M = 0.083 \text{ тм}$.							
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							25
Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Расчет узла примыкания раскоса к поясу

Согласно п. 14.3.1 узлы ферм с непосредственным креплением 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):

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

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

$D = 120$ мм - ширина пояса из ГСП;

$$D_h = 120 \text{ мм} - \text{высота пояса из ГСП};$$

$\gamma_c = 1.0$ - 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

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

в остальных случаях $\gamma_D = 1.0$;

$$R_v = 3.568 \text{ т/см}^2 \text{ - расчетное сопротивление стали пояса;}$$

$A = 29.96 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения пояса;

$t = 7.0$ мм – толщина стенки пояса;

$$d_h = 120 \text{ мм} - \text{высота раскоса из ГСП};$$

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

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

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

$$R_{vd} = 3.568 \text{ Т/см}^2$$
 - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 16.83 \text{ см}^2$ – 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;

Взам. инв. №	α – угол примыкания элемента решетки к поясу, $\alpha = 44.5^\circ$ для растянутого раскоса и $\alpha = 45.67^\circ$ – для сжатого;																				
	γ_d – коэффициент влияния знака усилия в примыкающем элементе принимаем равным $\gamma_d = 1.2$ при растяжении и $\gamma_d = 1.0$ – в остальных случаях (п.14.3.2.2 СП 294);																				
Подп. и дата	$R_{yd} = 3.568 \text{ т/см}^2$ – расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;																				
	$A_d = 16.83 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;																				
Инв. №подл.	$b = d_b / \sin \alpha$ – длина участка пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса (114.14мм – для растянутого раскоса, 111.84 мм – для сжатого);																				
	g – половина расстояния между смежными стенками элементов решетки;																				
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">1.01.08-У2-2-РПЗ.1</td><td>Лист</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>№ изм.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td><td>26</td></tr></table>													1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист	Изм.	№ изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	26
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист														
Изм.	№ изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		26														

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

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:

Инв. №подл.	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1
						Лист
						27

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

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

$$0.46 \leq 1$$

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.

Взам. инв. №	0.77 ≤ 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.						
	Подп. и дата						
Инв. №подл.							
							1.01.08-У2-2-РПЗ.1
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	28	

1.5. Узел №5

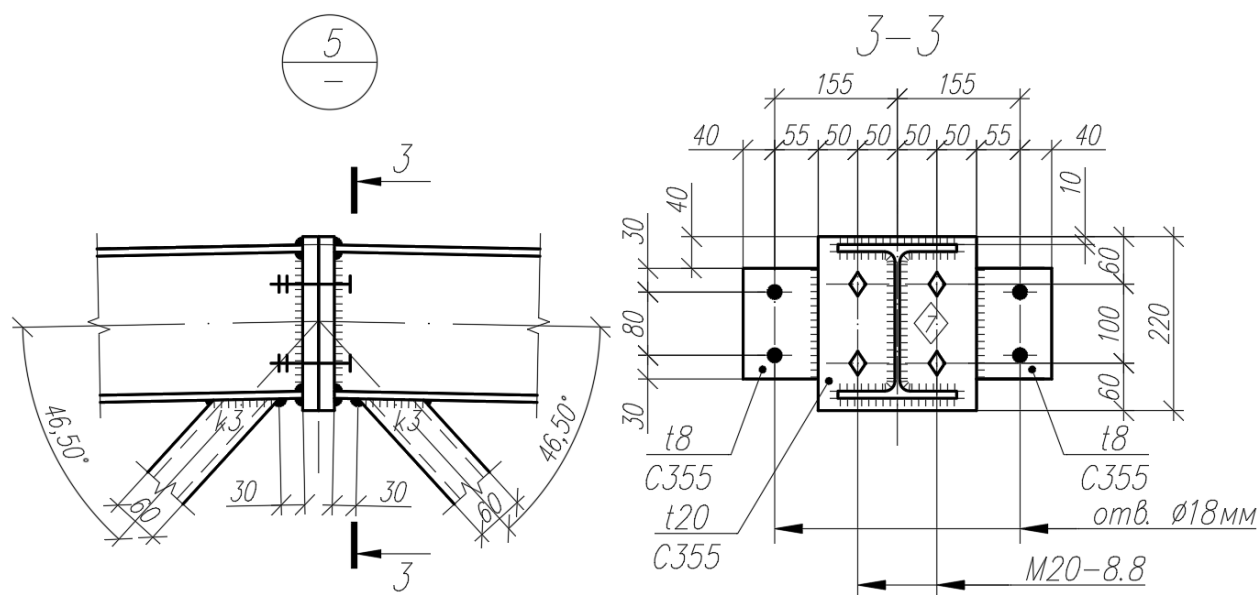


Рис. 1.5.1 Узел 5 фермы ФС-24/2-1,95.

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 $< 30 \text{ мм}$ по табл. В.4 СП16;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 2.250 \text{ т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.

Раскосы (сжатые):

- сечение - ГСП 60х5;
- 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	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							29

- 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 γ_D принимаем в соответствии с п.15.2.2 СП 294:

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

$\gamma_D = 1.0$ в прочих случаях;

$R_y = 3.874$ т/см² - расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$ см² - 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/см² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 10.36$ см² - 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:

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

Изм. и дата	Взам. инв. №	$d = 60$ 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/см² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП; $A_d = 10.36$ см² - 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]$					
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						
Изм. и дата	Взам. инв. №						

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

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

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.

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист 31
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		

- **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.

Инв. №подл.	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
Изм.	№уч.	Лист	№доп.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1
						Лист
						32

- 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 брутто, 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: $\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$

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

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.08-У2-2-РПЗ.1		Лист
									33
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	

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

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

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

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

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

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

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

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

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

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

$\beta_f=0.7$, $\beta_z=1.0$ – 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:

$$N = -86.86 \text{ т};$$

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

$$Q = 3.03 \text{ т};$$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	
Изм.	№уч.
Лист.	№доку.
Подп.	Дата
1.01.08-У2-2-РПЗ.1	
Лист 34	

$S^{отс}$ – 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.	Взам. инв. № Подп. и дата Инв. №подл.						Лист
	1.01.08-У2-2-РПЗ.1 35						
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		

$$\tau_{Qz} = \frac{Q \cdot S_z^{отс}}{I_z \cdot 2k_f} = \frac{3.03 \cdot 236.6}{6478.4 \cdot 2 \cdot 7} = 0.08 \text{ Т/см}^2;$$
$$\tau_{Mz} = \frac{M}{W_z} = \frac{0.655}{667.9} = 0.10 \text{ Т/см}^2;$$
$$\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} = \sqrt{(1.72 + 0.1)^2 + (0.08)^2} = 1.82 \leq 2.25$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_{Nh} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w} = \frac{86.86}{(7 + 1.4) \cdot 72} = 1.44 \text{ Т/см}^2;$$
$$\tau_{Qh} = \frac{Q \cdot S_h^{отс}}{I_h \cdot 2(k_f + 1.4)} = \frac{3.03 \cdot 282.1}{7817 \cdot 2 \cdot (7 + 1.4)} = 0.07 \text{ Т/см}^2;$$

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

– исключим возможность слоистого разрушения согласно п.13.5 СП 16.13330.2017:

$$\psi_{zp} \leq \psi_{zH}$$

ψ_{ZH} – нормируемое значение фактора риска для проката в соответствии с ГОСТ 28870;

Расчетное значение ψ_{zn} следует определять по ф.174 и табл.37 СП 16.13330.2017:

$$\psi_{zp} = \psi_{z\Phi} + \psi_{zT} + \psi_{zIII} + \psi_{z\mathbb{K}} + \psi_{zC}$$

$$\psi_{\text{зт}} = 0.2 \cdot 20 = 4 \text{ - толщина свариваемого проката;}$$
$$\psi_{\text{III}} = 0.3 \cdot 7 = 2.1 \text{ - катет шва;}$$

$\psi_{\text{зж}} = 5$ – 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:

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

μ – 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:

$$N_{c, \text{CK}} = \frac{M}{h} - \frac{N}{2} = \frac{0.655 \cdot 100}{19.4} - \frac{86.86}{2} = -40.05 \text{ T/CM}^2$$

$$Q = 3.03 \text{ T} \leq 0.58 \cdot 40.05 = 23.23 \text{ T}$$

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

Взам.инв.№	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.						
	Подп. и дата						
Инв.Неподл.						1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
							36
	Изм.	№изм.	Лист	№докум.	Подп.		Дата

1.6. Узел №6

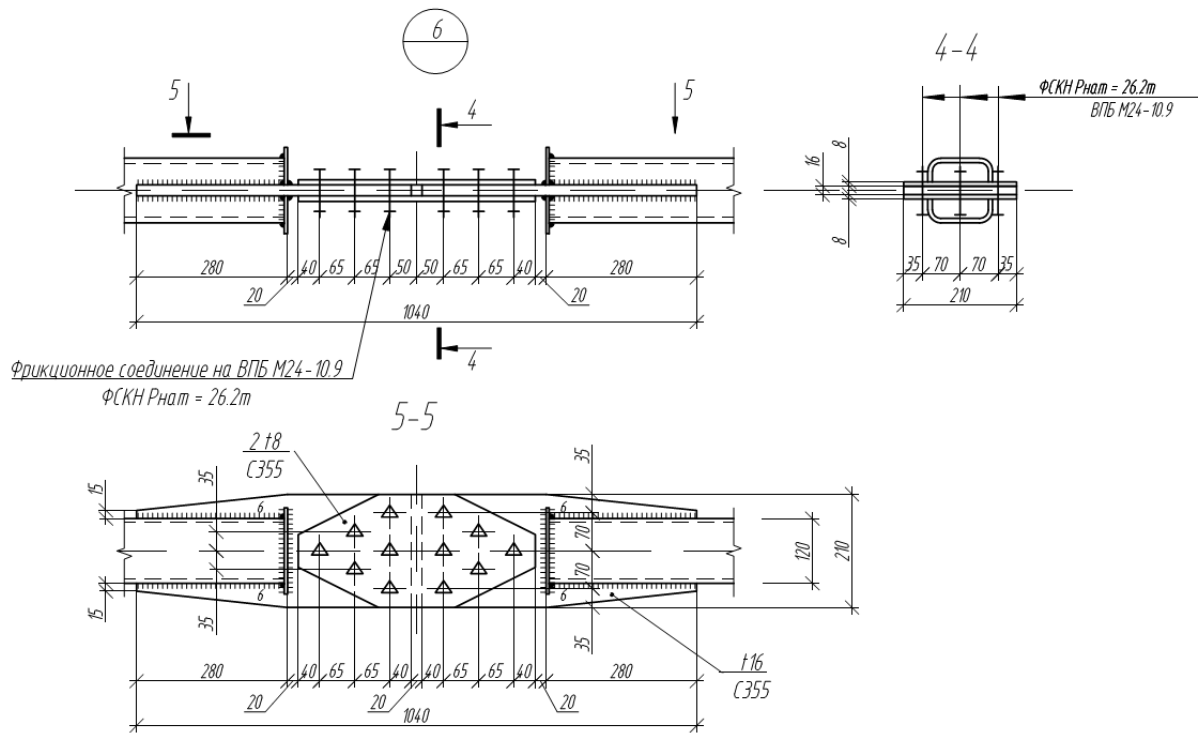


Рис. 1.6.1 Узел 6 фермы ФС-24/2-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение - ГСП 120х7;
- 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.

Ребро:

- $t=16 \text{ мм}$, 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.

Накладки:

- $t=8 \text{ мм}$, сталь С355;
- $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 2 до 16 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Болты:

- ВПБ 40X М24 по ГОСТ Р 52643-2006;
- усилие натяжения высокопрочного болта -
 $P_b = R_{bt} \cdot A_{bn} = 7.425 \cdot 3.53 = 26.21 \text{ т}$ (п.14.3.6 СП 16.13330.2017);
- $A_{bh} = 3.53 \text{ см}^2$ - площадь сечения болта нетто (Г.9 СП 16.13330.2017);
- $R_{bt} = 7.425 \text{ т/см}^2$ - (Г.8 СП 16.13330.2017);

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. Не подл.	
Накладки: - $t=8$ мм, сталь С355; - $R_y = 350$ Н/мм² = 3.568 т/см² при толщине проката от 2 до 16 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017. Болты: - ВПБ 40X M24 по ГОСТ Р 52643-2006; - усилие натяжения высокопрочного болта - $P_b = R_{bt} \cdot A_{bn} = 7.425 \cdot 3.53 = 26.21$ т (п.14.3.6 СП 16.13330.2017). - $A_{bh} = 3.53$ см² - площадь сечения болта нетто (Г.9 СП 16.13330.2017); - $R_{bt} = 7.425$ т/см² - (Г.8 СП 16.13330.2017);	
Изм.	№ уч.
Лист.	№ док.
Подп.	Дата
1.01.08-У2-2-РПЗ.1	
Лист	
37	

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

– расчет сварных швов крепления рёбер к поясу:

$\gamma_c = 1,00$ – коэффициент условий работы;

$$l_w(\text{факт}) = 280 \times 4 = 1120 \text{ мм} - \text{фактическая длина шва};$$

$R_{\text{сш}} = 490 \text{ МПа}$ – нормативное сопротивление металла сварных швов;

$R_{un} = 470 \text{ МПа}$ – нормативное сопротивление стали;

$$\beta_f = 0,7;$$
$$\beta_7 = 1,0;$$
$$k_f = 9 \text{ мм} - \text{катет углового шва};$$

$\gamma_{wm} = 1,25$ – коэффициент надежности по металлу шва;

14.1.16 Расчет сварного соединения с угловыми швами при действии силы N , проходящей через центр тяжести соединения, следует выполнять на срез (условный) по одному из двух сечений (рисунк 20) по формулам:

при $\beta_f R_{wf} / \beta R_{wz} \leq 1$ по металлу шва $N / \beta_f k_f l_w R_{wf} \chi_c \leq 1$ (176)

при $\beta_f R_{wf} / \beta_z R_{wz} > 1$ по металлу границы сплавления $N / \beta_z k_f l_w R_{wz} \chi_c \leq 1$ (177)

Находим расчетное сопротивление соответственно металла шва и металла на границе сплавления:

$$R_{wf} = 0,55 R_{wun} / \gamma_{wm} = 0,55 * 490 / 125 = 215,6 \text{ МПа}$$

$$R_{wz} = 0,45 R_{un} = 0,45 * 470 = 211,5 \text{ МПа}$$

Проверяем выполнение условия по металлу шва:

$$857 / (1,0 * 9 * 1120 * 215,6 * 1,0) = 0,56 < 1$$

Проверяем выполнение условия по металлу границы сплавления:

$$857 / (1,0 \cdot 9 \cdot 1120 \cdot 212 \cdot 1,0) = 0,40 < 1$$

Вывод:

$$\beta_f R_{wf} / \beta_z R_{wz} = (0,7 \cdot 216) / (1,0 \cdot 211,5) = 0,71$$

Решающей была проверка по металлу шва.

Процент загрузки сварного соединения: 56%

- расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах:

Взам. инв. №	Проверяем выполнение условия по металлу границы сплавления: $857 / (1,0 \cdot 9 \cdot 1120 \cdot 212 \cdot 1,0) = 0,40 < 1$																				
	Вывод: $\beta_f R_{wf} / \beta_z R_{wz} = (0,7 \cdot 216) / (1,0 \cdot 211,5) = 0,71$ Решающей была проверка по металлу шва. Процент загруженности сварного соединения: 56% - расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах:																				
Подп. и дата																					
Инв. №подл.																					
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>№уч.</td><td>Лист</td><td>№док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>												Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	<table><tr><td>1.01.08-У2-2-РПЗ.1</td></tr><tr><td>Лист</td></tr><tr><td>38</td></tr></table>	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист	38
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата																
1.01.08-У2-2-РПЗ.1																					
Лист																					
38																					

Проверка по п. 14.3.3 СП 16.13330.2011:

$$Q_{bh} = R_{bt} A_{bn} \mu / \gamma_h$$

$$n = N / Q_{bh} k \gamma_b \gamma_c$$

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

Принимаем газопламенный способ обработки соединяемых поверхностей, тогда $\mu = 0.42$;

n – количество болтов;

k – кол-во поверхностей трения;

$\gamma_h = 1.12$ по табл. 42 СП 16.13330.2011;

$\gamma_b = 0.9$ по СП 16.13330.2011 для кол-ва болтов от 5 до 10;

$\gamma_c = 1.0$;

$A_{bn} = 3,53 \text{ см}^2$ для болтов М24 по табл. Г.9 СП 16.13330.2011;

$R_{bt} = 728 \text{ МПа}$ для болтов 10.9 по табл. Г.5 СП 16.13330.2011.

$$Q_{bh} = 728 * 3,53 * 0,42 / 1,12 = 9,83 \text{ т}$$

$$n = 87,56 / 9,83 * 2 * 0,9 * 1,0 = 4,95 < 6$$

Условие выполняется, следовательно, прочность фрикционного соединения обеспечена.

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №		
							1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист
								39
Изм.	№уч.	Лист	№доку.	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. №				
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата					Лист
						1.01.08-У2-2-РПЗ.1				40

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. №						
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У2-2-РПЗ.1	Лист	
							41	