

**Расчётно—пояснительная записка к Альбому
чертежей: «Конструкции покрытия из замкнутых гнутосварных
профилей с верхним поясом из прокатного двутавра пролетом 18м,
24м. Уклон кровли 10%».**

**1.01.08-У10-1-РПЗ.1
Расчёт узлов конструкций покрытия.**

Том 1. Расчет узлов фермы ФС-24/10-1,95.

2023

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/10-1,95.....	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

Инв. №подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		1.01.08-У10-1-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 10%», 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 10%». Шифр–1.01.08-У10-1-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).

Взам. инв. №		<p>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).</p>										
Подп. и дата												
Инв. №подл.												
								1.01.08-У10-1-РПЗ.1				Лист
												3
		Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата					

1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/10-1,95

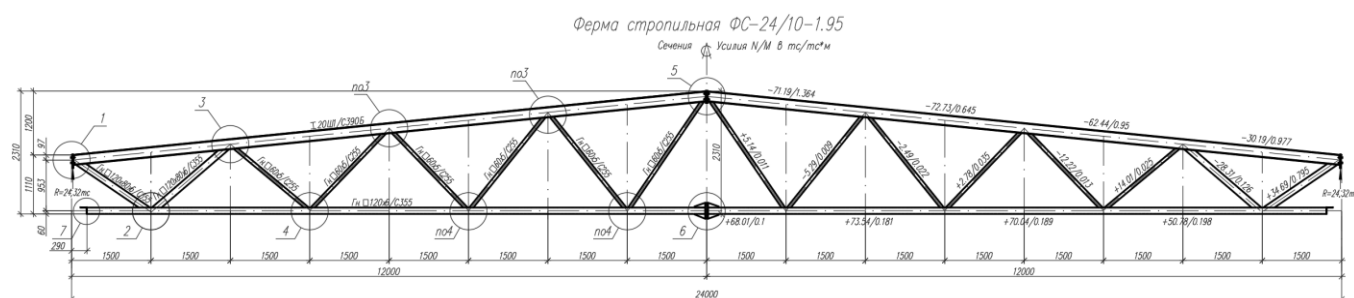


Рис. 1.1 Ферма ФС-24/10-1,95.

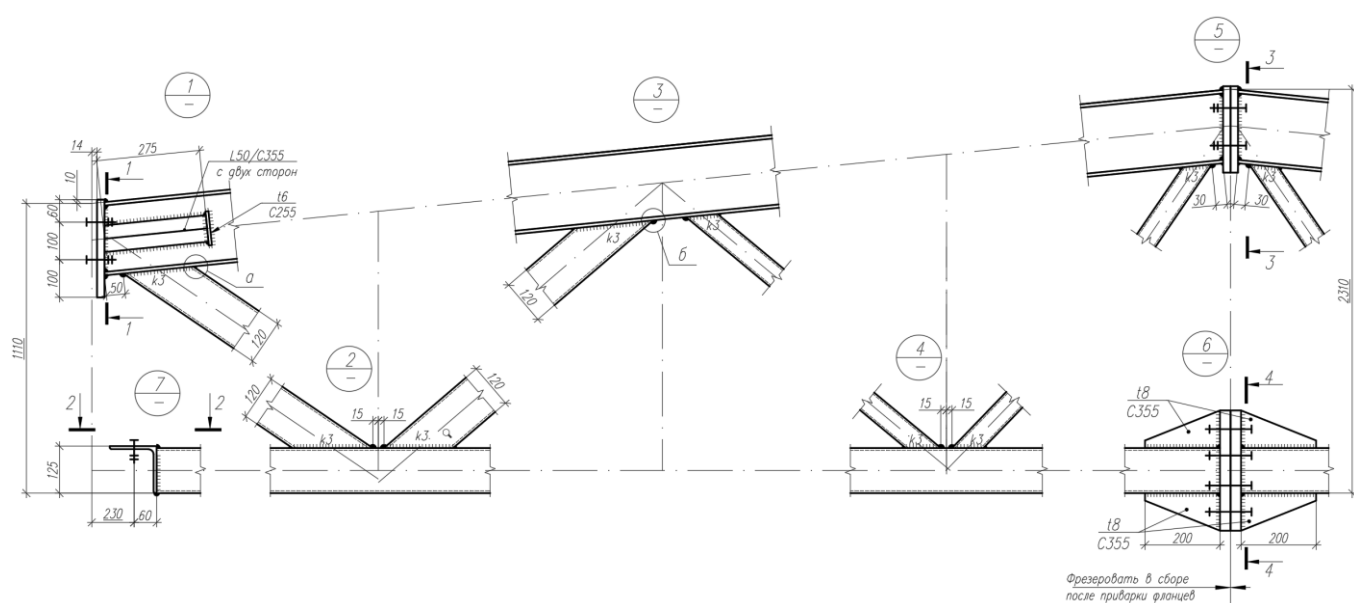


Рис. 1.2 Узлы фермы ФС-24/10-1,95.

Изм.	№изм.	Лист	№документа	Подпись	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
							4

1.1. Узел №1

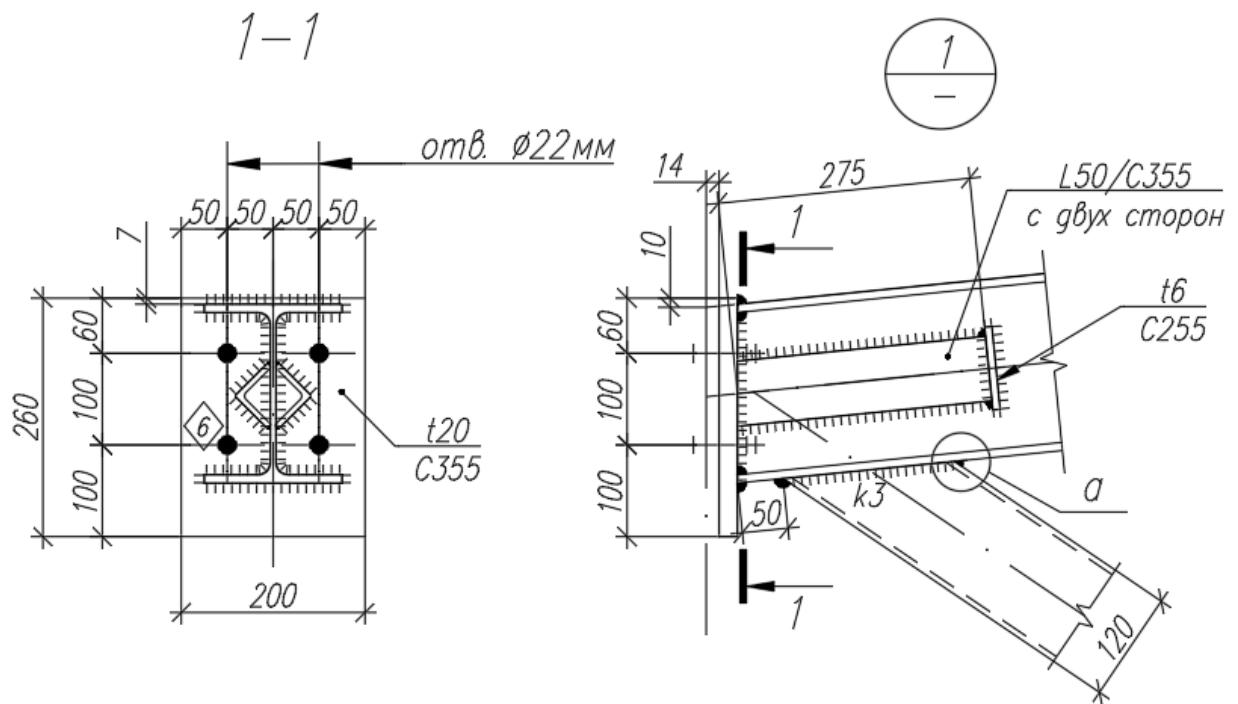


Рис. 1.1.1 Узел 1 фермы ФС-24/10-1,95.

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): $Q=24.32$ т, $N=-3.12$ т;
- усилия в поясе (опорный участок у раскоса): $Q=24.32$ т, $N=-3.12$ т, $M=0.496$ тм;

Изм.	№уч.	Лист.	№доп.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
							5

- усилия в поясе (первая панель со стороны растянутого раскоса): $N=-22.8$ т, $M=0.496$ тм;

- усилия в раскосе: $N=30.2$ т, $M=0.796$ тм.

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 $N = 30.2$ т - усилие в элементе решетки;

$M = 0.796$ 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;

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист 6
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		

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

$d = 80$ мм – ширина раскоса из ГСП;

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

$\alpha = 39.8^\circ$ – угол примыкания раскоса.

Для узла 1 примыкающим раскосом является гн $\square 120 \times 80 \times 6 / \text{С}355$, следовательно, выполняем расчет по ф.103:

$$|N| + |M|/d_b \leq 0.9 \cdot \gamma_c \cdot \left[\gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2} + d_b}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$
$$|30.2| + \frac{|0.796|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[1.0 \cdot 3.874 \cdot 9^2 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2} + 120}{80 \cdot \sin 39.8^\circ} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80 \right]$$
$$36.833 \text{ т} \leq 45.5 \text{ т}$$

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 $Q = N \cdot \sin \alpha = 30.2 \cdot \sin 39.8^\circ = 19.33$ т – поперечная сила в узле;

$R_s = 2.247$ т/см² – расчетное сопротивление сдвигу стали пояса;

$$\chi = 1 / \sqrt{1 + 16 \cdot (g^2 / 3t^2)} = 1 / \sqrt{1 + 16 \cdot (25^2 / (3 \cdot 9^2))} = 0.15$$
$$19.33 / (1.0 \cdot 2.247 \cdot [39.81 - (2 - 0.15) \cdot 150 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$$
$$0.486 \leq 1$$

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 $\gamma_d = 1.2$ – коэффициент влияния знака усилия в элементе (п.14.3.2.2 СП 16);

$\gamma_d = 1.2$ – при растяжении;

Взам. инв. №	$19.33 / (1.0 \cdot 2.247 \cdot [39.81 - (2 - 0.15) \cdot 150 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$ $0.486 \leq 1$						
	Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.						
Подп. и дата	- 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):						
	$\frac{N \cdot \left(1 + 0.05 \cdot \frac{d}{t}\right)}{\gamma_c \cdot \gamma_d \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$ <p>где $\gamma_d = 1.2$ - коэффициент влияния знака усилия в элементе (п.14.3.2.2 СП 16); $\gamma_d = 1.2$ - при растяжении;</p>						
Инв. №подл.						1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист 7
	Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.		

$\gamma_d = 1.0$ – при сжатии.

$$\frac{30.2 \cdot (1 + 0.05 \cdot 0.06)}{1.0 \cdot 1.2 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \leq 1$$

$$0.33 \leq 1$$

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);

$k_f = 5$ мм – катет шва;

$g/b = g/(d_b/\sin \alpha) = 25/(120/\sin 39.8^\circ) = 0.133 < 0.25$, расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(30.2 + \frac{0.5 \cdot 0.796}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 39.8^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 39.8^\circ + 80)} = 0.796 \\ 0.796 \leq 1 \end{aligned}$$

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

Расчет опорного фланца

– проверка опорного фланца на прочность:

Инв. №подл.	<div><div><div>Взам. инв. №</div><div>Подп. и дата</div><div>Расчет опорного фланца - проверка опорного фланца на прочность:</div></div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Изм.</div><div>№уч.</div><div>Лист</div><div>№докум.</div><div>Подп.</div><div>Дата</div></div></div><div>1.01.08-У10-1-РПЗ.1</div><div><div>Лист</div><div>8</div></div></div></div>					

Принимаем опорный фланец из стали С355 $R_y = 3,568 \text{ т/см}^2$, $t = 2,0 \text{ см}$, шириной $b=20,0 \text{ см}$.

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

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

$b_r = 0.5 \cdot b = 10.0 \text{ см}$ – 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:

$$\frac{Q}{b \cdot t} = \frac{24.32}{20.0 \cdot 2.0} = 0.608 \frac{\text{т}}{\text{см}^2} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

$$\frac{24.32}{20.0 \cdot 2.0} \leq 3.568 \cdot 1.0$$

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

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 $d < 1.4$;

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:

Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист 9
Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		
Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

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

$R_s = 0.58 \cdot R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247$ Т/см² - расчетное сопротивление стали пояса;

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

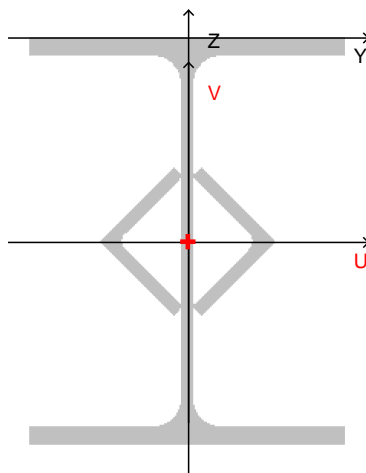
$$\frac{24.32 \cdot 154.28}{2689.74 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 1.035 \leq 1$$

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.



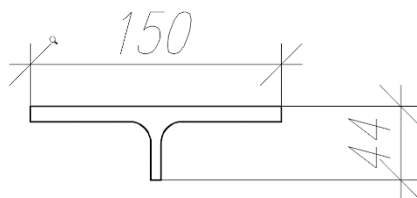
Элемент сечения	Угол	Зеркально
Двутавр балочный широкополочный по ГОСТ Р 57837-2017 20Ш1	0 град	-
Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 L50x6	-45 град	-
Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93 L50x6	135 град	-

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

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1		Лист
								11

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



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

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

Взам. инв. №	Площадь:		1632.3374				
	Периметр:		376.7747				
	Центр масс:		X: 0.0000	Y: 36.3125			
	Моменты инерции:		X: 2272439.2500	Y: 2534837.0000			
	Ц/беж. мом. инерции: XY:		0.5000				
	Радиусы инерции:		X: 37.3114	Y: 39.4067			
Подп. и дата	Расчет на прочность опорного сечения в стенке над усилением верхнего пояса фермы выполняем в соответствии с п.8.2.1 СП 16 (ф.42):						
	$\frac{Q \cdot S}{I \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$						
Инв. Неподр.						1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист 12
	Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.		

где $Q = 24.32\text{т}$ – 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);

$$\frac{24.32 \cdot 59.258}{2731.034 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.39 \leq 1$$

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);

$$\frac{24.32 \cdot 164.192}{2731.034 \cdot 2.4 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.27 \leq 1$$

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
Изм.	№уч.	Лист	№доку.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1				13

1.2. Узел №2

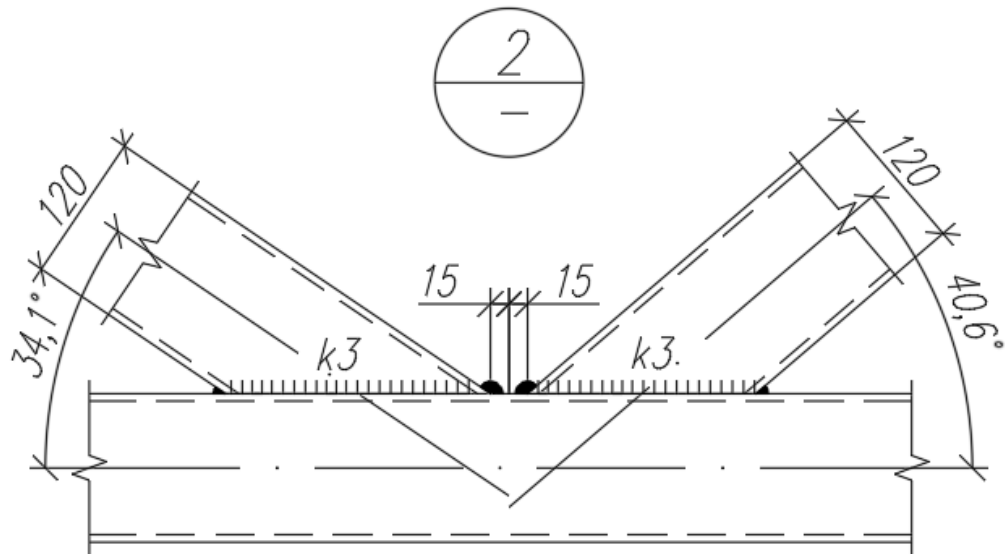


Рис. 1.2.1 Узел 2 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120х6;
- 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 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 – 34.1°.

Раскос сжатый (правый):

- 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 – 40.6°.

Усилия:

- усилия в поясе: $N = 50.78 \text{ т}$;
- усилия в растянутом раскосе: $N = 34.69 \text{ т}$, $M = 0.795 \text{ тм}$;
- усилия в сжатом раскосе: $N = -28.31 \text{ т}$, $M = 0.126 \text{ тм}$.

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	
<p>- 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 – 40.6°.</p> <p>Усилия:</p> <p>- усилия в поясе: $N = 50.78 \text{ т}$; - усилия в растянутом раскосе: $N = 34.69 \text{ т}$, $M = 0.795 \text{ тм}$; - усилия в сжатом раскосе: $N = -28.31 \text{ т}$, $M = 0.126 \text{ тм}$.</p>	
Изм.	№уч.
Лист.	№док.
Подп.	Дата
1.01.08-У10-1-РПЗ.1	
Лист	
14	

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

$$= \left(34.69 + \frac{1.5 \cdot 0.795}{120}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/214.12) \cdot 20 \cdot \sin 34.1^\circ}{1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 6^2 (214.12 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 20})} = 0.57$$

$$0.57 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

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

$$= \left(28.31 + \frac{1.5 \cdot 0.126}{80}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/184.4) \cdot 20 \cdot \sin 40.6^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 6^2 (184.4 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 20})} = 0.63$$

$$0.63 \leq 1$$

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:

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

$$= \frac{(34.69 + 0.5 \cdot 0.795/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/6) \sin 34.1^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \cdot \frac{3(1 + 80/120)}{2(2 + 80/120)}$$

$$= 0.46$$

$$0.46 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

Инв. №подл.	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
Изм.	№уч.	Лист	№доп.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1
						Лист 16

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

$$= \frac{(28.31 + 0.5 \cdot 0.126/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/7) \sin 40.6^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 21.63} \cdot \frac{3(1 + 80/120)}{2(2 + 80/120)}$$

$$= 0.41$$

$$0.41 \leq 1$$

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;

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 15/(120 / \sin 40.6^\circ) = 0.08 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

Для растянутого раскоса:

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

$$= \left(30.69 + \frac{0.5 \cdot 0.795}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 34.1^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 34.1^\circ + 80)} = 0.636$$

$$0.66 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

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

$$= \left(28.34 + \frac{0.5 \cdot 0.126}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 40.6^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 40.6^\circ + 80)} = 0.71$$

$$0.73 \leq 1$$

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

Взам. инв. №		$0.66 \leq 1$	
		Для сжатого раскоса:	
Подп. и дата		$\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b/\sin \alpha + d)}$	
		$= \left(28.34 + \frac{0.5 \cdot 0.126}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 40.6^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120/\sin 40.6^\circ + 80)} = 0.71$	
Инв. Неопл.		$0.73 \leq 1$	
		Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при $d < 1.4$ обеспечена.	

1.3. Узел №3

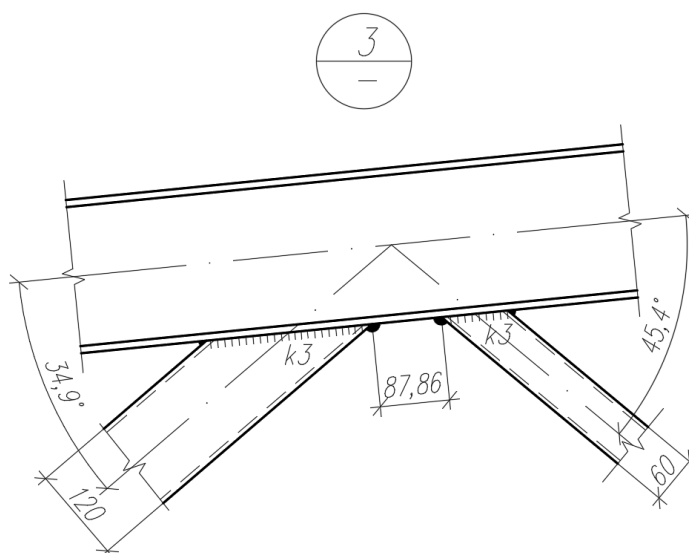


Рис. 1.3.1 Узел 3 фермы ФС-24/10-1,95.

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;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 2.250 \text{ т/см}^2$ 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 - $34,9^\circ$.

Раскос растянутый (правый):

- Сечение - ГСП 60х5;
- Сталь С255;
- $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу - $45,4^\circ$.

Усилия:

- усилия в поясе (у сжатого раскоса): $N = -30.19 \text{ т}$, $M = 0.977 \text{ тм}$;
- усилия в поясе (у растянутого раскоса): $N = -62.44 \text{ т}$, 0.95 тм ;
- усилия в сжатом раскосе: $N = -28.31 \text{ т}$, $M = 0.126 \text{ тм}$;
- усилия в растянутом раскосе: $N = 14.01 \text{ т}$, $M = 0.025 \text{ тм}$.

Взам. инв. №		<div>- Сечение – ГСП 60х5; - Сталь С255; - $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017; - угол примыкания к поясу – 45,4°.</div>							
Подп. и дата		<div>Усилия: - усилия в поясе (у сжатого раскоса): $N = -30.19 \text{ т}$, $M = 0.977 \text{ тм}$; - усилия в поясе (у растянутого раскоса): $N = -62.44 \text{ т}$, 0.95 тм; - усилия в сжатом раскосе: $N = -28.31 \text{ т}$, $M = 0.126 \text{ тм}$; - усилия в растянутом раскосе: $N = 14.01 \text{ т}$, $M = 0.025 \text{ тм}$.</div>							
Инв. Неподл.								1.01.08–У10–1–РПЗ.1	Лист
									18
		Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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;

$\alpha = 34.9^\circ$ - 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):

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.08-У10-1-РПЗ.1		Лист
									19
			Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	

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

$d = 60$ мм - ширина раскоса из ГСП;

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

$\alpha = 45.4^\circ$ - угол примыкания раскоса;

$\gamma_d = 1.2$ - 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 сжатого раскоса:

$$|N| + |M|/d_b \leq 0.9 \cdot \gamma_c \cdot \left[\gamma_D \cdot R_y \cdot t^2 \cdot \frac{2 \cdot D \cdot \sqrt{2} + d_b}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$
$$|28.31| + \frac{|0.126|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[1.0 \cdot 3.874 \cdot 9^2 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2} + 120}{80 \cdot \sin 34.9^\circ} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80 \right]$$
$$29,36 \text{ т} \leq 48,99 \text{ т}$$

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

$$|N| + |M|/d_b \leq \gamma_c \cdot \left[3 \cdot \gamma_D \cdot \frac{R_y \cdot t^2 \cdot D}{d \cdot \sin \alpha} + R_{yd} \cdot t_d \cdot d \right]$$
$$|14.01| + \frac{|0.025|}{60} \leq 1.0 \cdot \left[3 \cdot 1.0 \cdot \frac{3.874 \cdot 9^2 \cdot 150}{60 \cdot \sin 45.4^\circ} + 2.446 \cdot 5 \cdot 60 \right]$$
$$14.43 \text{ т} \leq 40.26 \text{ т}$$

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 гнутосварного профиля следует проверять по формуле (106):

$$N \cdot \sin \alpha / [10 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot (t + t_d)] \leq 1,$$
$$|28.31| \cdot \frac{\sin 34.9^\circ}{[10 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 5)]} \leq 1$$
$$0.5 \leq 1$$

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;

Взам. инв. №		$ 28.31 \cdot \frac{0.001 \cdot 10^3}{[10 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 5)]} \leq 1$ $0.5 \leq 1$ <p>Несущая способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому (левому) раскосу обеспечена.</p>						
Подп. и дата		<p>- поперечное сечение пояса у левого (сжатого) раскоса:</p> <p>Согласно п. 15.2.7 СП 294 несущую способность двутаврового пояса под действием поперечной силы в узле следует проверять по формуле (108):</p> $Q/(\gamma_c \cdot R_s[A - (2 - \chi) \cdot D \cdot t + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t]) \leq 1,$ <p>где $Q = N \cdot \sin \alpha$ - поперечная сила в узле;</p>						
Инв. №подл.							1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
								20
		Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.		Дата

- 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):

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

- 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:

$$g/b = g/(d_b/\sin \alpha) = 43,93/(120/\sin 34,9^\circ) = 0,209 < 0,25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b/\sin \alpha + d)} = \\ = \left(28,31 + \frac{0,5 \cdot 0,126}{120}\right) \cdot \frac{(1,06 + 0,014 \cdot 150/9) \cdot \sin 34,9^\circ}{0,7 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 2,19 \cdot (2 \cdot 120/\sin 34,9^\circ + 80)} = 0,557 \\ 0,557 \leq 1 \end{aligned}$$

Для растянутого раскоса:

$$g/b = g/(d_b/\sin \alpha) = 43,93/(60/\sin 45,4^\circ) = 0,524 > 0,25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.92

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0,5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{\left[1 + 0,01 \cdot \frac{(3 + 5 \cdot d/D - 0,1 \cdot d_b/t_d)D}{t}\right] \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot d_b \cdot \gamma_c \cdot R_{wf}} = \\ = \left(14,01 + \frac{0,5 \cdot 0,025}{60}\right) \cdot \frac{\left(1 + 0,01 \cdot \frac{(3 + 5 \cdot 60/150 - 0,1 \cdot 60/5)150}{9}\right) \cdot \sin 45,4^\circ}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 2,19} \\ = 0,891 \end{aligned}$$

$$0,891 \leq 1$$

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	$0.891 \leq 1$						Лист	
			<i>Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при $d < 1.4$ обеспечена.</i>							
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1				22

1.4. Узел №4

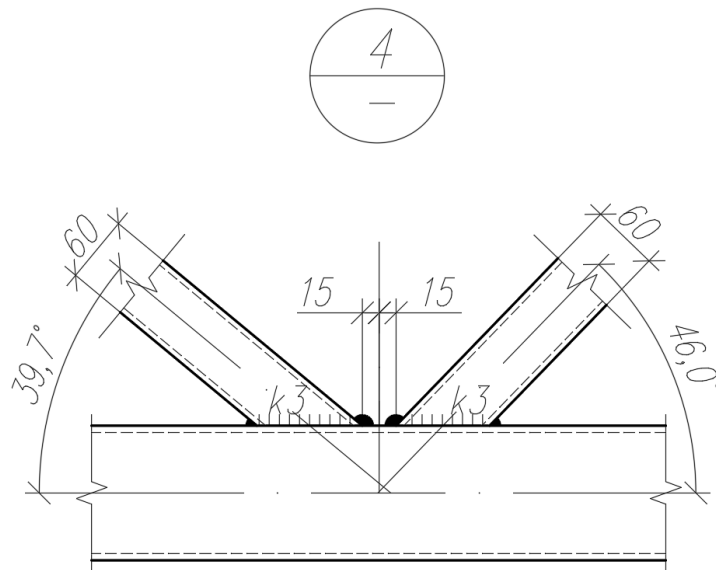


Рис. 1.4.1 Узел 4 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120х6;
- 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 60х5;
- сталь С255;
- $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу – $39,7^\circ$.

Раскос сжатый (правый):

- сечение – ГСП 60х5;
- сталь С255;
- $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу – $46,0^\circ$.

Усилия:

- усилия в поясе у растянутого раскоса: $N = 50,78 \text{ т}$;
- усилия в поясе у сжатого раскоса: $N = 70.04 \text{ т}$;
- усилия в растянутом раскосе: $N = 14.01 \text{ т}$, $M = 0.025 \text{ тм}$;
- усилия в сжатом раскосе: $N = -12.22 \text{ т}$, $M = 0.013 \text{ тм}$.

Взам. инв. №		<p>Раскос сжатый (пробы):</p> <ul style="list-style-type: none">- сечение – ГСП 60х5;- сталь С255;- $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;						
Подп. и дата		<p>- угол примыкания к поясу – 46,0°.</p> <p>Усилия:</p> <ul style="list-style-type: none">- усилия в поясе у растянутого раскоса: $N = 50,78 \text{ т}$;- усилия в поясе у сжатого раскоса: $N = 70.04 \text{ т}$;- усилия в растянутом раскосе: $N = 14.01 \text{ т}$, $M = 0.025\text{мм}$;- усилия в сжатом раскосе: $N = -12.22 \text{ т}$, $M = 0.013 \text{ мм}$.						
Инв. Неподл.							1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
								23
		Изм.	№ич.	Лист.	№доку.	Подп.	Дата	

Для растянутого раскоса:

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

$$= \left(14.01 + \frac{1.5 \cdot 0.025}{60}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/93.9) \cdot 30 \cdot \sin 39.7^\circ}{1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 6^2 (93.9 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 30})} = 0.65$$

$$0.65 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

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

$$= \left(12.22 + \frac{1.5 \cdot 0.013}{60}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/83.41) \cdot 30 \cdot \sin 46^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 6^2 (83.41 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 30})} = 0.83$$

$$0.83 \leq 1$$

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 $d/D = 60/120 = 0.5 > 0.85$ следует проверять по формуле (88):

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

$d/D = 60/120 = 0.5 < 0.85$, 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):

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

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:

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

$$= \frac{(14.01 + 0.5 \cdot 0.025/60) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/6) \sin 39.7^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2.446 \cdot 10.36} = 0.63$$

$$0.63 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
							25
Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № уч.

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

$$= \frac{(12.22 + 0.5 \cdot 0.013/60) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/6) \sin 46^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2.446 \cdot 10.36} = 0.62$$

$$0.62 \leq 1$$

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;

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 15/(60 / \sin 46^\circ) = 0.18 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

Для растянутого раскоса:

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

$$= \left(14.01 + \frac{0.5 \cdot 0.025}{60}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 39.7^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 60 / \sin 39.7^\circ + 60)} = 0.64$$

$$0.64 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

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

$$= \left(12.22 + \frac{0.5 \cdot 0.013}{60}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 46^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 60 / \sin 46^\circ + 60)} = 0.68$$

$$0.68 \leq 1$$

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

Взам. инв. №		<p>0.04 ≤ 1</p> <p>Для сжатого раскоса:</p> $\left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)}$ $= \left(12.22 + \frac{0.5 \cdot 0.013}{60}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 46^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 60 / \sin 46^\circ + 60)} = 0.68$ $0.68 \leq 1$ <p>Несущая способность сварных швов при применении автоматической и механизированной сварки при d<1.4 обеспечена.</p>					
Подп. и дата							
Инв. №подл.							

1.5. Узел №5

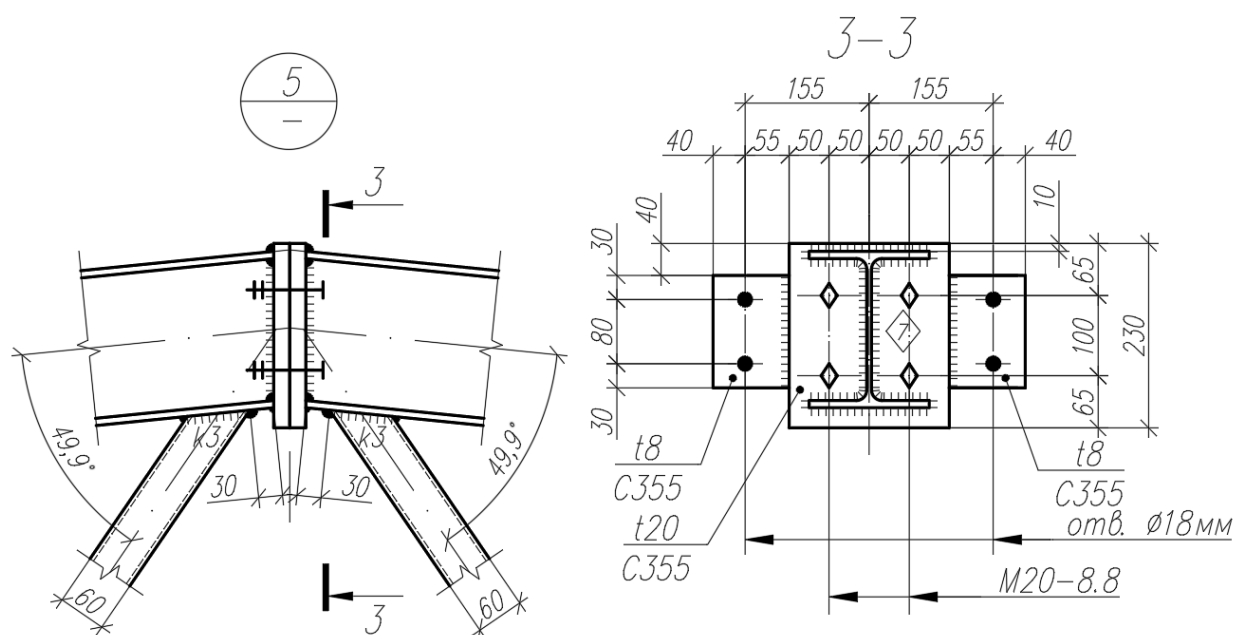


Рис. 1.5.1 Узел 5 фермы ФС-24/10-1,95.

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

Раскосы:

- 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 - $49,89^\circ$.

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: $N = -71.19 \text{ т}$, $M = 1.364 \text{ тм}$;
- усилия в раскосе: $N = 5.14 \text{ т}$, $M = 0.011 \text{ тм}$;

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-У10-1-РПЗ.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 (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 $N = 5.14$ т - усилие в элементе решетки;

$M = 0.011$ 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:

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

$d = 60$ мм - ширина раскоса из ГСП;

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

$\alpha = 49.89^\circ$ - 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 растянутого раскоса, при $d_b = d$ несущую способность пояса на отгиб полки следует проверять по формуле (104):

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

Инв. Неодп.	Подп. и дата	Взам. инв. №	<p>$d = 60$ мм - ширина раскоса из ГСП;</p> <p>$t_d = 5.0$ мм - толщина раскоса из ГСП;</p> <p>$\alpha = 49.89^\circ$ - угол примыкания раскоса.</p> <p>$\gamma_d = 1.0$ - коэффициент условий работы (п.14.3.2.2 СП 294).</p> <p>$R_{yd} = 2.446$ т/см² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;</p> <p>$A_d = 10.36$ см² - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;</p> <p>Для растянутого раскоса, при $d_b = d$ несущую способность пояса на отгиб полки следует проверять по формуле (104):</p> $ 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]$					
			<div>1.01.08-У10-1-РПЗ.1</div>					
Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			Лист
								28

– 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):

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

– для Y-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 $q/b > 0,25$ при $d/D \leq 0,9$ и $q/b \leq 0,25$ по формуле (92):

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

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

$\beta_1=0.7$ – 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

$$R_{wf} = 215 \text{ H/MM}^2 = 2.19 \text{ m/cm}^2;$$

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

$k_f = 0.5$ см - катет шва;

$$g/b = g/(d_b/\sin \alpha) = 15/(60/\sin 49.89^\circ) = 0.18 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} & \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ & = \left(5.14 + \frac{0.5 \cdot 0.01}{60}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 150/9) \cdot \sin 49.89^\circ}{0.7 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 60 / \sin 49.89^\circ + 60)} = 0.37 \\ & 0.37 \leq 1 \end{aligned}$$

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:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{1.364 \cdot 100}{277.3} - \frac{71.19}{39.01} = -1.333 \text{ T/cm}^2$$

$$\sigma_{min} = -\frac{M}{W} + \frac{N}{A} = -\frac{1.364 \cdot 100}{277.3} - \frac{71.19}{39.01} = -2.317 \text{ T/cm}^2$$

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

Взам. инв. №		<p>Расчет фланцевого соединения</p> <p>Максимальное и минимальное значения нормальных напряжений в присоединяемом профиле от действия изгиба и продольных усилий по формуле 10 Рекомендаций:</p> $\sigma_{max} = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{1.364 \cdot 100}{277.3} - \frac{71.19}{39.01} = -1.333 \text{ т/см}^2$ $\sigma_{min} = -\frac{M}{W} + \frac{N}{A} = -\frac{1.364 \cdot 100}{277.3} - \frac{71.19}{39.01} = -2.317 \text{ т/см}^2$ <p>Согласно п. 15.9.6 СП 16, фланцевые соединения, подверженные совместному действию сжатия с изгибом, следует проектировать и рассчитывать по 14.2.</p>	
Подп. и дата			
Инв. №подл.			

						1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		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 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.

$N = Q = 3.22 \text{ т}$ – значение поперечной силы в сечении.

$$n = \frac{N}{N_{b,min}} = \frac{3.22}{9.56} = 0.34$$

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. №	<p>Количество болтов отвечает прочности соединения.</p> <p>- расчет сварных швов крепления пояса к фланцу:</p> <p>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).</p> <p>По металлу шва: $\tau_f = \sqrt{\frac{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2}{N}} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$</p> $\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w}$ $\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{отс}}{I_f \cdot 2(k_f + 2)};$						Лист		
			1.01.08-У10-1-РПЗ.1							31	
Изм.	№уч.	Лист	№доп.	Подп.	Дата						

$S_{отс}$ – 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:

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{71.19}{0.7 \cdot (7 + 2) \cdot 72} = 1.57 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{отс}}{I_f \cdot 2(k_f + 2)} = \frac{3.22 \cdot 301.4}{5876.8 \cdot 2 \cdot (7 + 2)} = 0.09 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f} = \frac{1.364}{605.9} = 0.22 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2} = \sqrt{(1.57 + 0.22)^2 + (0.09)^2} = 1.8 \leq 2.19$$

По металлу границы сплавления:

$$\tau_{Nz} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{71.19}{1.0 \cdot 7 \cdot 72} = 1.42 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qz} = \frac{Q \cdot S_z^{отс}}{I_z \cdot 2k_f} = \frac{3.22 \cdot 236.6}{6478.4 \cdot 2 \cdot 7} = 0.08 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M}{W_z} = \frac{1.364}{667.9} = 0.21 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} = \sqrt{(1.42 + 0.21)^2 + (0.08)^2} = 1.62 \leq 2.25$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_{Nh} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w} = \frac{71.19}{(7 + 1.4) \cdot 72} = 1.18 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qh} = \frac{Q \cdot S_h^{отс}}{I_h \cdot 2(k_f + 1.4)} = \frac{3.22 \cdot 282.1}{7817 \cdot 2 \cdot (7 + 1.4)} = 0.07 \text{ т/см}^2;$$

Взам. инв. №	$\tau_{Qz} = \frac{Q \cdot S_z^{отс}}{I_z \cdot 2k_f} = \frac{3.22 \cdot 236.6}{6478.4 \cdot 2 \cdot 7} = 0.08 \text{ Т/см}^2;$ $\tau_{Mz} = \frac{M}{W_z} = \frac{1.364}{667.9} = 0.21 \text{ Т/см}^2;$ $\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} = \sqrt{(1.42 + 0.21)^2 + (0.08)^2} = 1.62 \leq 2.25$ <p>По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:</p> $\tau_{Nh} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w} = \frac{71.19}{(7 + 1.4) \cdot 72} = 1.18 \text{ Т/см}^2;$ $\tau_{Qh} = \frac{Q \cdot S_h^{отс}}{I_h \cdot 2(k_f + 1.4)} = \frac{3.22 \cdot 282.1}{7817 \cdot 2 \cdot (7 + 1.4)} = 0.07 \text{ Т/см}^2;$						
	Подп. и дата						
Инв. №подл.		1.01.08-У10-1-РПЗ.1					
	Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	Лист
							33

$$\tau_h = \sqrt{(\tau_{Nh} + \tau_{Mh})^2 + (\tau_{Qh})^2} = \sqrt{(1.18 + 0.17)^2 + (0.07)^2} = 1.35 \leq 2.44$$

– 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:

$$\psi_{zp} = \psi_{z\Phi} + \psi_{zT} + \psi_{z\text{III}} + \psi_{z\text{Ж}} + \psi_{zC}$$

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

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

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

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

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:

$$N_{c, \text{CK}} = \frac{M}{h} - \frac{N}{2} = \frac{1.364 \cdot 100}{19.4} - \frac{71.19}{2} = -28.56 \text{ T/cm}^2$$

$$Q = 3.22 \text{ T} \leq 0.58 \cdot 28.56 = 16.57 \text{ T}$$

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:					
Подп. и дата	$N_{c,сж} = \frac{M}{h} - \frac{N}{2} = \frac{1.364 \cdot 100}{19.4} - \frac{71.19}{2} = -28.56 \text{ Т/см}^2$ $Q = 3.22 \text{ Т} \leq 0.58 \cdot 28.56 = 16.57 \text{ Т}$					
	Условие выполняется, следовательно, прочность фланцевого соединения на сдвиг обеспечена.					
Инв. Неопл.						
	Изм.	№ изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
1.01.08-У10-1-РПЗ.1						Лист 34

1.6. Узел №6

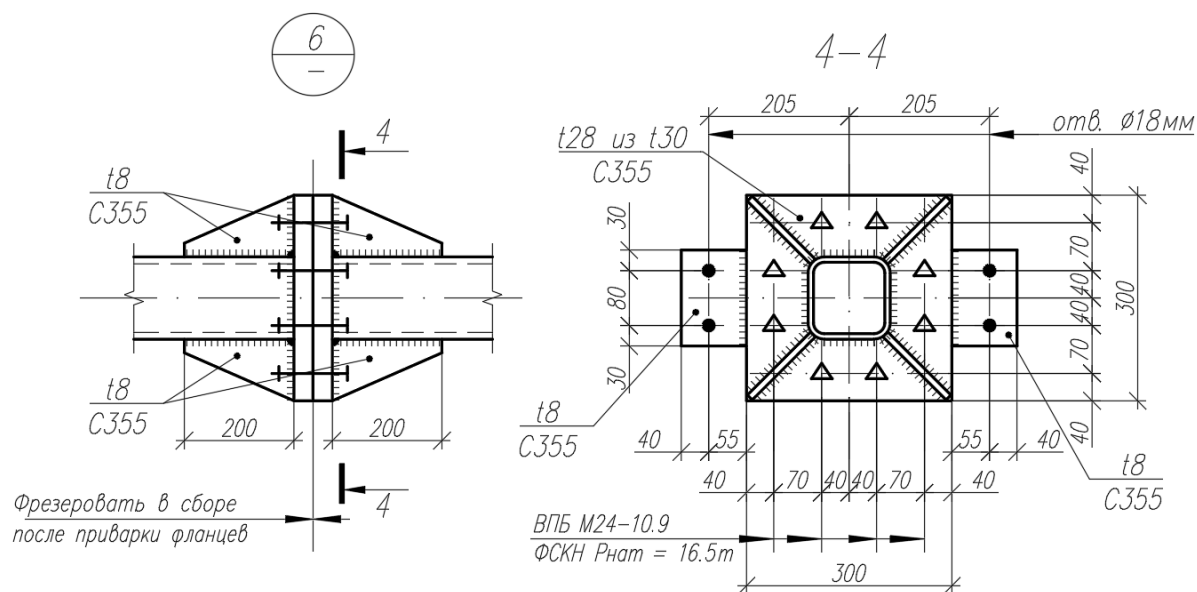


Рис. 1.6.1 Узел 6 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение - ГСП 120х6;
- 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 - $B_p = R_{bh} \cdot A_{bh} = 7.69 \cdot 3.53 = 27.15 \text{ т}$ (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 - $B_0 = 0.9 \cdot B_p = 0.9 \cdot 27.15 = 24.44 \text{ т}$

Усилия:

- усилия в поясе: $N = 68.01 \text{ т}$, $M = 0.1 \text{ тм}$, $Q = 0 \text{ т}$.

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;

Взам. инв. №	$B_p = R_{bh} \cdot A_{bh} = 7.69 \cdot 3.53 = 27.15 \text{ т}$ (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 - $B_0 = 0.9 \cdot B_p = 0.9 \cdot 27.15 = 24.44 \text{ т}$						
Подп. и дата	Усилия: - усилия в поясе: $N = 68.01 \text{ т}$, $M = 0.1 \text{ тм}$, $Q = 0 \text{ т}$.						
Инв. Неподл.	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;						
						1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
							35
Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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

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

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

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

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

$d = 2.4$ 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;

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

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

$$T = N_H \cdot n_H = 16.138 \cdot 8 = 129.1 \text{ т} > 68,01 \text{ т}$$

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).

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

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

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

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

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

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

Инв. №подл.							Лист
Подп. и дата							1.01.08-У10-1-РПЗ.1
<p>По металлу шва: $\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + (\tau_{Qf})^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$</p> $\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w};$ $\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{отс}}{l_f \cdot 2(k_f + 2)};$ $\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f};$ <p>По металлу границы сплавления: $\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c$</p> $\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w};$							

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

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

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

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

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

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

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

$\beta_f = 0.7$, $\beta_z = 1.0$ – 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;

Взам. инв. №	$\gamma_c = 1$ – коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16, примечание 5); N, Q, M , – силы, действующие на сварной шов: $N = +87.46$ т; $M = 0.225$ т · м; $Q = 0$ т;					
Подп. и дата	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;					
Инв. №подл.						

$k_f=0.6$ см – катет шва;

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

По металлу шва:

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{68.01}{0.7 \cdot (7 + 2) \cdot 136} = 0.79 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M}{W_f} = \frac{0.1}{329.15} = 0.03 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2} = \sqrt{(0.79 + 0.03)^2} = 0.82 \leq 2.19$$

По металлу границы сплавления:

$$\tau_{Nz} = \frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{68.01}{1.0 \cdot 6 \cdot 136} = 0.83 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M}{W_z} = \frac{0.1}{352.99} = 0.03 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2} = \sqrt{(0.83 + 0.03)^2} = 0.86 \leq 2.25$$

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

$$\tau_{Nh} = \frac{N}{(k_f + 1.4) \cdot l_w} = \frac{68.01}{(7 + 1.4) \cdot 136} = 0.68 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_{Mh} = \frac{M}{W_h} = \frac{0.1}{435.06} = 0.02 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_h = \sqrt{(\tau_{Nh} + \tau_{Mh})^2} = \sqrt{(0.68 + 0.02)^2} = 0.7 \leq 2.44$$

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.

Взам. инв. №	R_{wf} – расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу шва по табл. Г.2 СП 16.13330.2017 для проволоки Св-08Г2С					
	$R_{wf}=215 \text{ Н/мм}^2=2.19 \text{ т/см}^2$;					
Подп. и дата	R_{wz} – расчетное сопротивление металла шва срезу по металлу границы сплавления по табл. 4 СП 16.13330.2017 для проволоки Св-08Г2С					
	$R_{wz}=0.45 \cdot R_{un}$,					
Инв. №подл.	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.					
1.01.08-У10-1-РПЗ.1						Лист
						38
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	

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

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

где:

τ_{Nf} – напряжение в металле шва от действия сжимающей силы;

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

N – усилие в поясе;

$k_{fp}=0.6$ см – катет шва;

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

$$\tau_{Nf} = \frac{68.01}{0.7 \cdot 0.6 \cdot 8 \cdot 18} = 1.12 \text{ т/см}^2$$

Таким образом:

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

$$\tau_{Nf} = 1.12 \text{ т/см}^2 < 2.19 \text{ т/см}^2.$$

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 ψ_{zp} – суммарный фактор риска;

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

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

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

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;

$\psi_{zc} = 0$ – 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:

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

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

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

Взам. инв. №	<i>проходов, последовательности наложения швов и подогрева;</i> $\psi_{zp} = 0 + 5.6 + 1.8 + 5 + 0 = 12.4 < 35$							
	- расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах: <i>Прочность фланцевого соединения изгибаемых элементов открытого профиля на действие сдвигающих сил Q, определим по ф.24 Рекомендаций:</i> $Q \leq \mu \cdot n \cdot N_i$ <i>μ - коэффициент трения соединяемых поверхностей фланцев, принимаемый в соответствии с табл.42 СП 16.13330.2011;</i> <i>Принимаем дробеструйный способ обработки соединяемых поверхностей, тогда</i> <i>μ = 0.58;</i>							
Подп. и дата								
Инв. №подл.							1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист
								39
	Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата		

n – количество болтов;

$N_i = 0.1B_0 = 0.1 \cdot 24.44 = 2.444 \text{ т}$ – контактные усилия;

$Q = 0.1\mu \cdot N = 0.1 \cdot 0.58 \cdot 68.01 = 3.95 \text{ т}$ – условное значение местной поперечной силы.

$$3.95 \text{ т} \leq 0.58 \cdot 8 \cdot 2.44 = 11.32 \text{ т}$$

$$3.95 \text{ т} \leq 11.32 \text{ т}$$

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1			40

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. №						
						1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист	
							41	
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. №						
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист	
							42	