

**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.2
Расчёт узлов конструкций покрытия.**

**Том 2. Расчет узлов подстропильной балки БП-12-75 и
подстропильных ферм ФП-12-55 и ФП-12-71,2.**

2023

Изм. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ПОДСТРОПИЛЬНОЙ БАЛКИ БП-12-75.....	4
1.1. Узел №1.....	5
1.2. Узел №2	8
2. РАСЧЕТ УЗЛОВ ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ ФП-12-55.....	11
2.1. Узел №1.....	12
2.2. Узел №2	17
2.3. Узел №3	23
3. РАСЧЕТ УЗЛОВ ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ ФП-12-71,2.....	26
3.1. Узел №1.....	27
3.2. Узел №2	33
3.3. Узел №3	37
4. ВЫВОДЫ.....	44
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:.....	45

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2		Лист
								2

1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ПОДСТРОПИЛЬНОЙ БАЛКИ БП-12-75

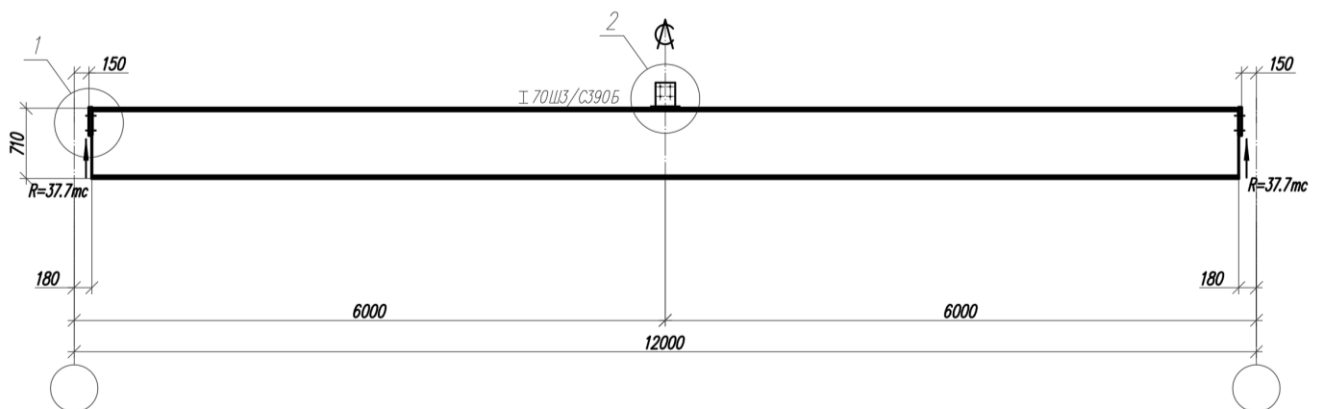
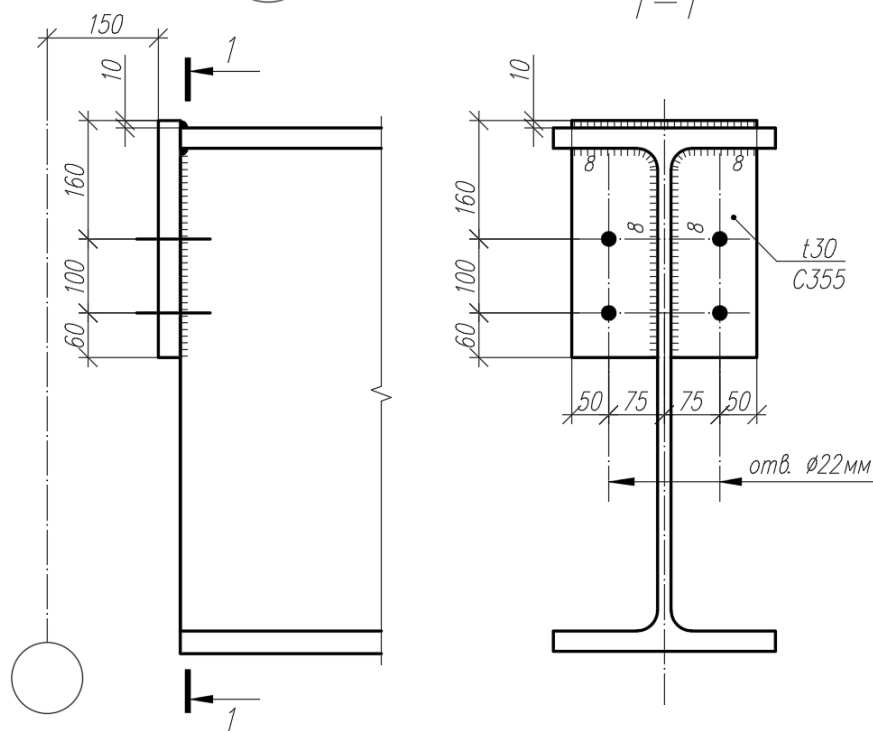


Рис. 1.1 Подстропильная балка БП-12-75.

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №				
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2				Лист
										4

$$\frac{1}{-}$$


Исходные данные:

- $t=3,0$ см шириной $b=25,0$ см;
- сталь С355, $R_y=340$ Н/мм²=3.466 т/см² при толщине проката от 16 до 40 мм

по табл. В.3 СП16.13330.2017.

- сечение - двутавр 70ШЗ;
- 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

- опорные усилия у фланца (опорный участок у фланца): $Q = 37.7$ т;

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 $d<1.4$;

Взам. инв. №		<p>- $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ 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 СП16.13330.2017.</p> <p>Усилия:</p> <p>- опорные усилия у фланца (опорный участок у фланца): $Q = 37.7 \text{ т}$;</p> <p>Расчет сварных швов крепления балки к опорному фланцу:</p> <p>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.</p> <p>$\beta_f = 0.7$, $\beta_z = 1.0$ - по табл.39 СП 16.13330.2017 для механизированной сварки при $d < 1.4$;</p>
Подп. и дата		
Инв. Неопл.		

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

$$\tau_f = \sqrt{(0.01 + 0.29)^2 + 1.11^2} = 1.15 \text{ Т/см}^2 < 2.19 \text{ Т/см}^2.$$

Прочность сварного шва крепления опорного фланца обеспечена.

Проверка прочности опорного фланца на смятие:

Условие прочности в соответствии с п.8.5.17 имеет вид

$$\sigma = \frac{Q_{\Pi}}{b_p \cdot s} \leq R_p \cdot \gamma_c$$

$Q_{\Pi} = 37.7 \text{ Т}$ – опорная реакция;

$b_p = 20.0 \text{ см}$ – фактическая ширина опирания фланца на столик;

$s = 2.0 \text{ см}$ – толщина зоны опирания ребра подстропильной конструкции на столик;

$$R_p = R_{un} / \gamma_m$$

где R_{un} – нормативное значение временного сопротивления основного металла, для С355 при толщине от 16 до 40 мм $R_{un} = 490 \text{ Н/мм}^2 = 4.99 \text{ Т/см}^2$ – табл. В.3 СП 16;

$\gamma_m = 1.025$ – коэффициент надежности по материалу по табл.3 СП 16.13330.2017

$$R_p = 4.99 / 1.025 = 4.87 \text{ Т/см}^2$$

$$\sigma = \frac{37.7}{20.0 \cdot 2.0} = 0.94 < 4.87 \text{ Т/см}^2$$

Прочность фланца на смятие обеспечена.

Расчет опорного сечения балки 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 СП 16)

Расчет на прочность в опорном сечении балки 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 $Q = 37.7 \text{ Т}$ – опорная реакция балки;

$S = 164.03 \text{ см}^4$ – статический момент сечения опорной части стенки балки;

$I = 2952.45 \text{ см}^2$ – момент инерции сечения опорной части стенки балки;

$t_w = 18.0 \text{ мм}$ – 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);

$$\frac{37.7 \cdot 164.03}{2952.45 \cdot 1.8 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.518 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения балки на срез от действия опорной реакции обеспечена.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	<div>$I \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c$</div> <p>где $Q = 37.7$ т - опорная реакция балки; $S = 164.03$ см⁴ - статический момент сечения опорной части стенки балки; $I = 2952.45$ см² - момент инерции сечения опорной части стенки балки; $t_w = 18.0$ 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);</p> <div>$\frac{37.7 \cdot 164.03}{2952.45 \cdot 1.8 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.518 \leq 1$</div> <p>Несущая способность поперечного сечения балки на срез от действия опорной реакции обеспечена.</p>					
			<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>1.01.08-У10-1-РПЗ.2</div> <div>Лист</div> <div>7</div>					

1.2. Узел №2

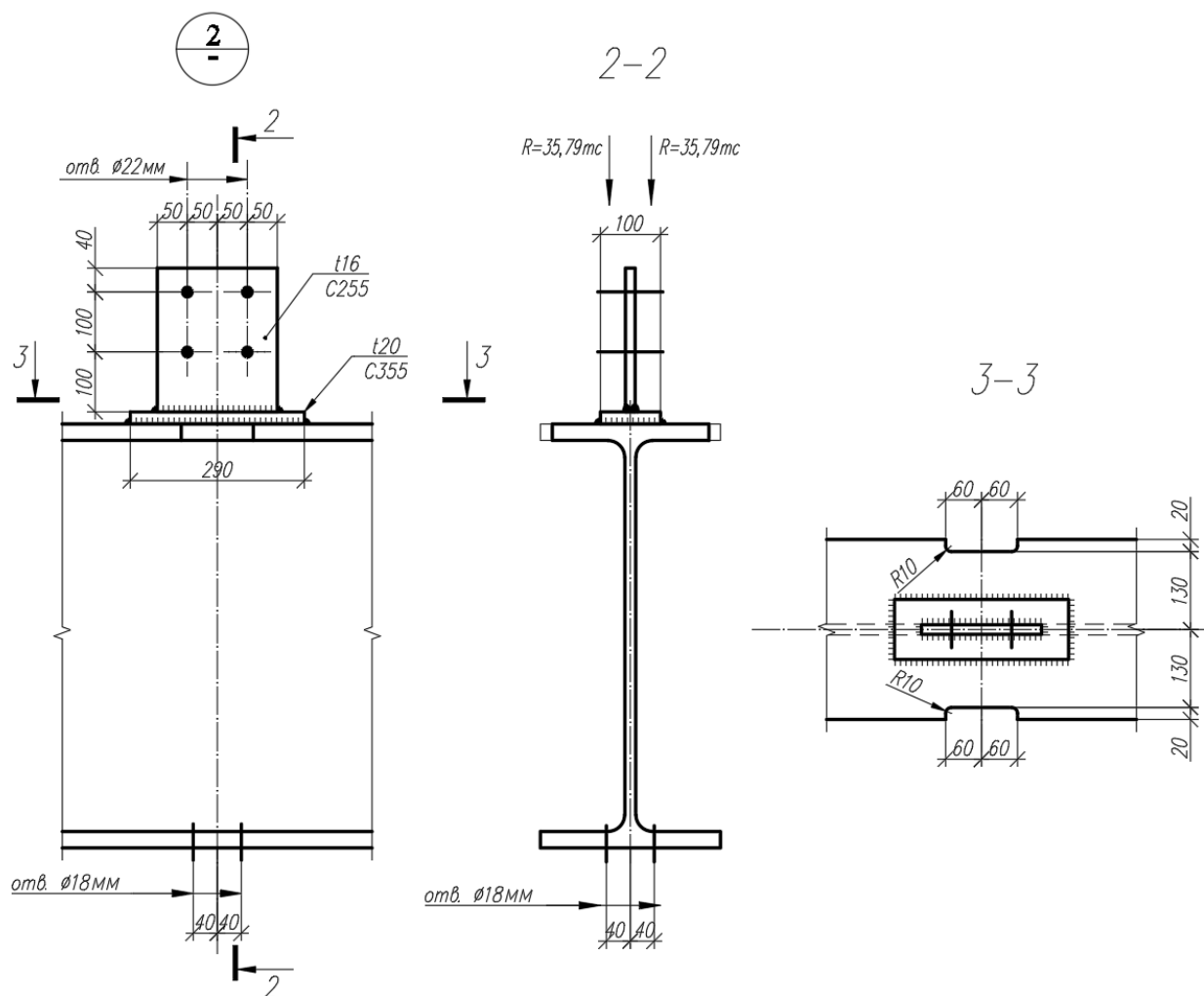


Рис. 1.2.1 Узел 2 подстропильной балки БП-12-75.

Исходные данные:

Опорная пластина:

- $t=2,0$ см;
- сталь С355, $R_y=340$ Н/мм²=3.466 т/см² при толщине проката от 16 до 40 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Подкрановая балка (БП):

- сечение - Двутавр 70ШЗ;
- сталь С390Б;
- $R_y=380$ Н/мм²=3.874 т/см² при толщине проката <30 мм по табл. В.4 СП16;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 2.250 \text{ т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.

Усилия:

- Усилие от ветровой нагрузки $N = -0.7$ т;
- Усилие от стропильных ферм: $Q = 35.79 + 35.79 = 71.58$ т;
- Усилие от стропильных ферм: $M = 216$ мм;

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				
Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2
						Лист
						8

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w}$$

где $F = N_c = 71.58 \text{ т}$ – расчетное значение нагрузки;

$l_{ef} = b + 2h$ – условная длина распределения нагрузки;

b – ширина опирания верхнего элемента;

h – размер, равный сумме толщины опорной пластины и расстояния от наружной грани полки до начала внутреннего закругления стенки;

$$l_{ef} = b + 2h = 20 + 2 \cdot (2 + 2.75 + 2.8) = 35.1 \text{ см}$$

$$\sigma = \frac{71.58}{1.8 \cdot 35.1 \cdot 3.874 \cdot 1} = 0.29 < 1$$

Прочность стенки на двутавра в месте приложения нагрузки обеспечена.

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №	
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							10
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата		

2. РАСЧЕТ УЗЛОВ ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ ФП-12-55

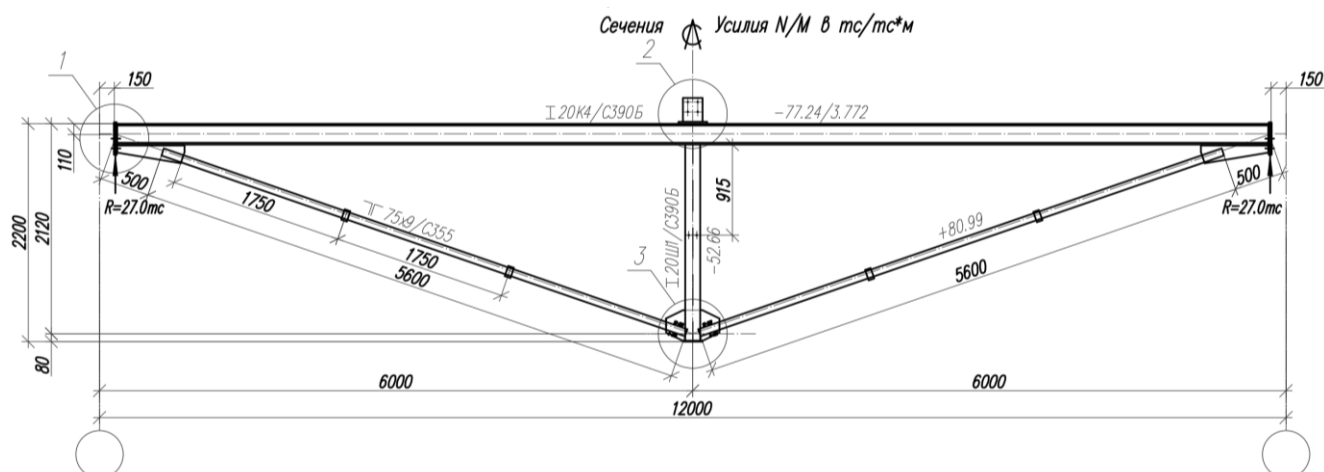


Рис. 2.1 Подстропильная ферма ФП-12-55.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2		Лист
								11

2.1. Узел №1

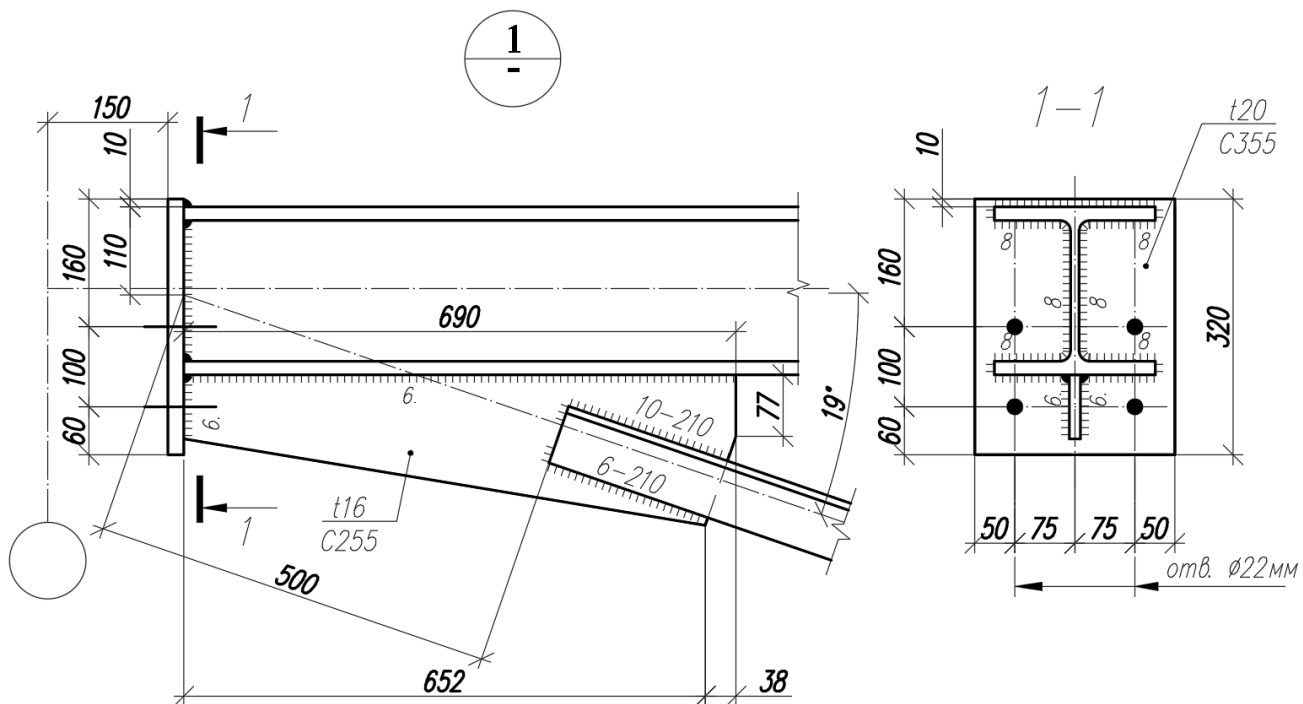


Рис. 2.1.1 Узел 1 подстропильной фермы ФП-12-55.

Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение - двутавр 20К4;
- Сталь С390Б;
- $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 5 до 16мм по табл. В.4 П16;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \text{ Н/мм} = 2.250 \text{ т/см}^2$ табл.2, табл.3 П16.

Раскос:

- сечение - 2 L 75x9;
- сталь С355 $R_y = 340 \text{ Н/мм}^2 = 3.466 \text{ т/см}^2$ - табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 10 до 16мм);
- угол примыкания к поясу - $19,0^\circ$.

Опорный фланец:

- $t = 2,0$ см шириной $b=25,0$ см;
- сталь С355 $R_y = 340$ Н/мм² = 3.466 т/см² – табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 10 до 16мм).

Усилия:

- опорные усилия в поясе (опорный участок у фланца): $Q=26.995\text{т}$, $N_c = N_t = 0.700\text{т}$;
- усилия в раскосе: $N_t = 80.718\text{ т}$, $M = 0.0\text{ тм}$, $Q = 0.061\text{т}$.

Взам. инв. №	<p>толщине проката от 10 до 16мм);</p> <p>- угол примыкания к поясу - 19,0°.</p> <p>Опорный фланец:</p> <p>- $t = 2,0$ см шириной $b=25,0$ см;</p> <p>- сталь С355 $R_y = 340 \text{ Н/мм}^2 = 3.466 \text{ т/см}^2$ - табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 10 до 16мм).</p> <p>Усилия:</p> <p>- опорные усилия в поясе (опорный участок у фланца): $Q=26.995\text{т}$, $N_c = N_t = 0.700\text{т}$;</p> <p>- усилия в раскосе: $N_t = 80.718 \text{ т}$, $M = 0.0 \text{ тм}$, $Q = 0.061\text{т}$.</p>						
Подп. и дата							
Инв. Неодл.							
1.01.08-У10-1-РПЗ.2							Лист
							12
Изм.	№уч.	Лист	№доп.	Подп.	Дата		

Расчет крепления фасонки к поясу

$\beta_f=0.7$, $\beta_z=1.0$ – 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 16.13330.2011 для проволоки Св-08Г2С

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

где R_{un} – нормативное значение временного сопротивления основного металла, для С255 при толщине от 2 до 20 мм $R_{un} = 370 \text{ Н/мм}^2 = 3.771 \text{ т/см}^2$ – табл. В.5 СП 16;

$$R_{wz}=0.45 \cdot 3.771 = 1.697 \text{ т/см}^2,$$

Так как $\beta_f \cdot R_{wf} = 0.7 \cdot 2.19 = 1.53 < \beta_z \cdot R_{wz} = 1.0 \cdot 1.697 = 1.697$, дальнейший расчет ведем по металлу шва.

Крепление фасонки к верхнему поясу фермы осуществляется при помощи сварки.

Шов крепления фасонки к опорному фланцу принимаем в запас.

Сварной шов работает на срез от действия сил N и Q . Условия прочности имеет вид:

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{MNf})^2 + (\tau_{Qf} + \tau_{MQf})^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c;$$

где:

τ_N – напряжение среза от действия продольной силы;

τ_Q – напряжение среза от действия поперечной силы;

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

$$\tau_{Qf} = \frac{Q_\phi}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w};$$

$$\tau_{MNf} = \frac{M_N}{W_{f'}};$$

$$\tau_{MQf} = \frac{M_Q}{W_{f'}};$$

N_ϕ , Q_ϕ – горизонтальная и вертикальная составляющая силы N .

τ_{MN} – напряжение среза металла шва от действия продольной силы N ;

τ_{MQ} – напряжение среза металла шва от действия момента.

$$M_N = N \cdot e = 81.0 \cdot 1.8 = 145.8 \text{ т} \cdot \text{см};$$

$$M_Q = Q \cdot L = 0.061 \cdot 35.1 = 2.141 \text{ т} \cdot \text{см};$$

$$N_\phi = N_t \cdot \sin 19^\circ + Q \cdot \cos 19^\circ = 80.718 \cdot \sin 19^\circ + 0.061 \cdot \cos 19^\circ = 26.337 \text{ т};$$

$$Q_\phi = N_t \cdot \cos 19^\circ + Q \cdot \sin 19^\circ = 80.718 \cdot \cos 19^\circ + 0.061 \cdot \sin 19^\circ = 76.340 \text{ т};$$

Изм.	№уч.	Лист.	№доку.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист 14
Изм.	№уч.	Лист.	№доку.	Подп.	Дата		
Изм.	№уч.	Лист.	№доку.	Подп.	Дата		

L – расстояние от крайней точки сварных швов крепления раскосов к фасонке до центра тяжести сварного шва крепления фасонки к поясу;

e – расстояние от оси приложения продольной силы N до центра тяжести сварных швов;

W_f – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при $\beta_f = 0.7$, $W_f = 0.7 \cdot 0.6 \cdot 67^2 / 6 \cdot 2 = 628.46 \text{ см}^3$)

$k_f = 0.6 \text{ см}$ – катет шва;

$l_w = 67.0 \text{ см}$ – расчетная длина одного шва

$$\tau_{Nf} = \frac{26.337}{0.7 \cdot 0.6 \cdot 2 \cdot 67.0} = 0.467 \text{ Т/см}^2$$

$$\tau_{Qf} = \frac{76.340}{0.7 \cdot 0.6 \cdot 2 \cdot 67.0} = 1.356 \text{ Т/см}^2$$

$$\tau_{MNf} = \frac{145.8}{628.46} = 0.232 \text{ Т/см}^2;$$

$$\tau_{MQf} = \frac{2.141}{628.46} = 0.003 \text{ Т/см}^2;$$

Таким образом:

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{MNf})^2 + (\tau_{Qf} + \tau_{MQf})^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_f = \sqrt{(0.467 + 0.232)^2 + (1.356 + 0.003)^2} = 1.528 \text{ Т/см}^2 < 2.19 \text{ Т/см}^2.$$

Расчет фасонки на вырыв

$N_t = 80.718 \text{ т}$, $Q = 0.061 \text{ т}$;

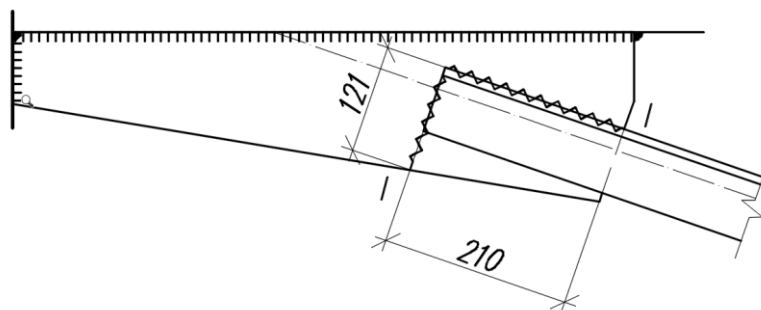


Рис. 2.1.2 Расчетное сечение для расчета фасонки на вырыв.

Сечение I-I

Сечение принимаем по Г-образной линии, по которой может произойти выкалывание фасонки. При расчете этого сечения должно выполняться условие:

$$\sqrt{\left(\frac{N_t}{A_{ef,N}}\right)^2 + \left(\frac{Q}{A_{ef,Q}}\right)^2} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

где A_{ef} – приведенная площадь сечения.

$$A_{ef,N} = A'_n + A''_n \cdot 0.58 = 1.6 \cdot 12.1 + 1.6 \cdot 21.0 \cdot 0.58 = 38.848 \text{ см}^2$$

$$A_{ef,Q} = A'_n + A''_n \cdot 0.58 = 1.6 \cdot 21.0 + 1.6 \cdot 12.1 \cdot 0.58 = 44.829 \text{ см}^2$$

Взам. инв. №	Рис. 2.1.2 Расчетное сечение для расчета фасонки на вырыв.					
	Сечение I-I					
Подп. и дата	Сечение принимаем по Г-образной линии, по которой может произойти выкалывание фасонки. При расчете этого сечения должно выполняться условие:					
	$\sqrt{\left(\frac{N_t}{A_{ef,N}}\right)^2 + \left(\frac{Q}{A_{ef,Q}}\right)^2} \leq R_y \cdot \gamma_c$					
Инв. №подл.	где A_{ef} - приведенная площадь сечения.					
	$A_{ef,N} = A'_n + A''_n \cdot 0.58 = 1.6 \cdot 12.1 + 1.6 \cdot 21.0 \cdot 0.58 = 38.848 \text{ см}^2$					
	$A_{ef,Q} = A''_n + A'_n \cdot 0.58 = 1.6 \cdot 21.0 + 1.6 \cdot 12.1 \cdot 0.58 = 44.829 \text{ см}^2$					

2.2. Узел №2

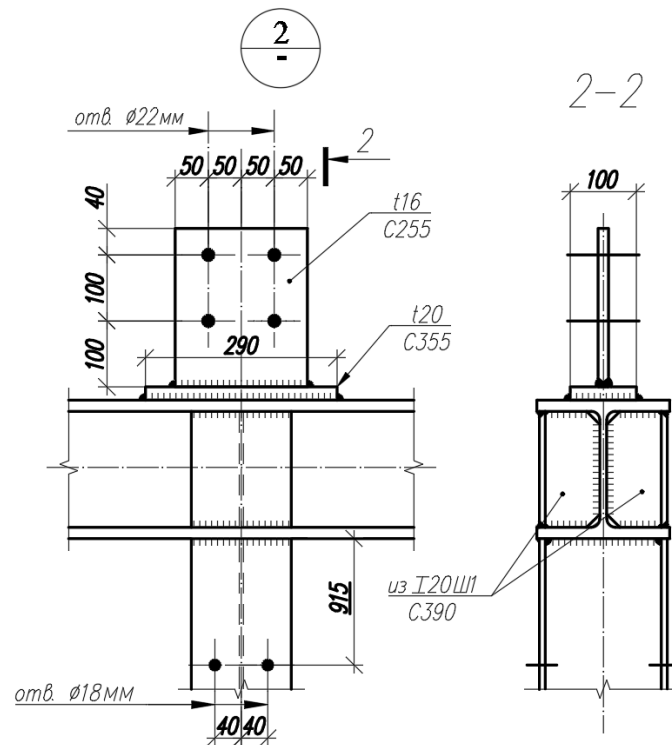


Рис. 2.2.1 Узел 2 подстропильной фермы ФП-12-55.

Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение - двутавр 20К4;
- сталь С390Б, $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 5 до 16 мм по табл. В.4 СП16.13330.2017;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \text{ Н/мм} = 2.250 \text{ т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.13330.2017;

Стойка:

- сечение - двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б, $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 5 до 16 мм по табл. В.4 СП16.13330.2017.

Усиление ВП:

- $t = 0,8 \text{ см}$;
- сталь С355 $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$ - табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 2 до 16 мм).

Усилия:

- Усилие в стойке: $N_c = -52.66 \text{ т}$, $Q=0 \text{ т}$;
- Усилие в верхнем поясе: $N = -77.24 \text{ т}$, $M = 3.772 \text{ тм}$.

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							17

Расчет сварных швов крепления стойки к ВП

Так как $\beta_f \cdot R_{wf} = 0.7 \cdot 2.385 = 1.67 < \beta_z \cdot R_{wz} = 1.0 \cdot 2.16 = 2.16$,

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 16.13330.2011 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 16.13330.2017 для проволоки Св-08Г2С

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

где R_{un} – нормативное значение временного сопротивления основного металла, для С390Б при толщине < 30 мм $R_{un} = 520 \text{ Н/мм}^2 = 5.3 \text{ т/см}^2$ – табл. В.5 СП 16.13330.2011;

$$R_{wz} = 0.45 \cdot 5.3 = 2.385 \text{ т/см}^2,$$

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

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

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

где:

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

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

N_c – усилие сжатия в стойке.

$k_{fp}=0.6$ см – катет шва;

$l_{wp}=76$ см – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{52.66}{0.7 \cdot 0.6 \cdot 76} = 1.64 \text{ т/см}^2$$

Таким образом:

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

$$\tau_{Nf} = 1.64 \text{ т/см}^2 < 2.385 \text{ т/см}^2.$$

Прочность сварного шва крепления стойки к ВП обеспечена.

Расчет ребер на прочность в зоне приложения нагрузки от полки стойки

Согласно п. 8.2.2 СП 16.13330.2017 расчет на прочность стенки балки, не укрепленной ребрами жесткости следует выполнять по формуле:

$$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \gamma_c} \leq 1$$

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w}$$

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	$\tau_{Nf} = 1.64 \text{ Т/см}^2 < 2.385 \text{ Т/см}^2.$						
			Прочность сварного шва крепления стойки к ВП обеспечена.						
			Расчет ребер на прочность в зоне приложения нагрузки от полки стойки						
			Согласно п. 8.2.2 СП 16.13330.2017 расчет на прочность стенки балки, не укрепленной ребрами жесткости следует выполнять по формуле:						
$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \gamma_c} \leq 1$									
$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w}$									
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2			Лист
									18
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата				

где $F = N_c = 52.66 \text{ т}$ - расчетное значение нагрузки;
 $l_{ef} = t_{fCT15B} + t_{fB23} + a = 0.6 + 2 \cdot (1.3 + 1.7) = 6.6$ - условная длина распределения нагрузки.

$$a = \frac{b_{wB23} - h_{c15B}}{2} = \frac{20.1 - 19.6}{2} = 0.25$$

$$\sigma = \frac{52.66}{6.6 \cdot 1.05 \cdot 3.874} = 1.96 < 1$$

Условие не выполняется, требуется постановка дополнительных ребер жесткости.

В месте примыкания стойки к ВП для усиления стенки выполним установку вставок из листов $t=8\text{мм}$ в форме тавра.

Проверка ребер вставки на срез

Согласно п. 8.2.1 СП 16.13330.2017 расчет на прочность элемента при действии в сечении поперечной силы выполняется по формуле:

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot t} \leq R_s \cdot \gamma_c;$$

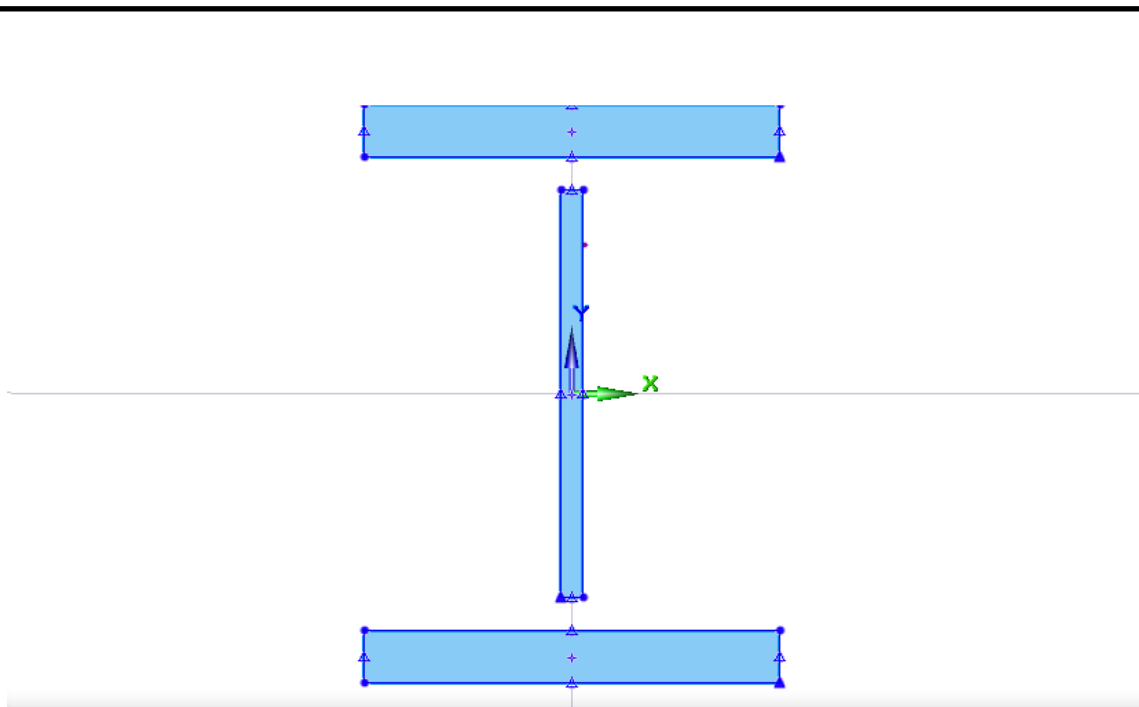
с учетом одной плоскости среза;

где: $Q = \frac{N_c}{2} = \frac{52.66}{2} = 26.33 \text{ т}$ - срезающее усилие;

$R_s = 0.58R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 1.892 \text{ т/см}^2$ - расчетное сопротивление сдвигу по т. 2 СП 16.13330.2017 для толщины от 5 до 10мм;

Характеристики сечения, работающего на срез (ребро жесткости совместно с полками верхнего пояса подстропильной фермы):

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №	
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							19
Изм.	№уч.	Лист	№доку.	Подп.	Дата		



Характеристики сечения

Обозначение	Значение	Единицы	Наименование
Геометрические характеристики всего сечения			
Xo	0	мм	Координата x центра тяжести в текущей системе координат
Yo	0	мм	Координата y центра тяжести в текущей системе координат
A	69.22	см ²	Площадь
Iu	5466.581	см ⁴	Момент инерции относительно центральной оси U
Iv	1090.899	см ⁴	Момент инерции относительно центральной оси V
Iuv	0	см ⁴	Центробежный момент инерции относительно центральных осей U и V
φ	0	°	Поворот главной оси сечения Y1 относительно оси x текущей системы координат
Iy	5466.581	см ⁴	Момент инерции относительно главной оси Y1
Iz	1090.899	см ⁴	Момент инерции относительно главной оси Z1
Wy	520.627	см ³	Момент сопротивления относительно главной оси Y1
Wz	144.490	см ³	Момент сопротивления относительно главной оси Z1
Sy	295.894	см ³	Статический момент инерции относительно главной оси Y1
Sz	109.489	см ³	Статический момент инерции относительно главной оси Z1
Ry	88.87	мм	Радиус инерции относительно главной оси Y1
Rz	39.70	мм	Радиус инерции относительно главной оси Z1
Pext	992	мм	Периметр внешних контуров
Pint	0	мм	Периметр внутренних контуров
Ro	7.850	т/м ³	Усредненная плотность сечения
g	0.054	тс/м	Усредненный погонный вес
Y-	20.87	мм	Ядровое расстояние в отрицательном направлении главной оси Y1
Y+	20.87	мм	Ядровое расстояние в положительном направлении главной оси Y1
Z-	75.21	мм	Ядровое расстояние в отрицательном направлении главной оси Z1
Z+	75.21	мм	Ядровое расстояние в положительном направлении главной оси Z1

где $h_w = 27$ см – высота стенки балки

$t_p = 2.5$ см – толщина ребра балки

$\gamma_c = 1.0$ – коэффициент условий работы по табл.41 (примечание 5) СП 16.13330.2017;

$$\tau = \frac{Q_{\phi} \cdot S_n}{I_n \cdot t} = \frac{26.33 \cdot 295.894}{5466.581 \cdot 0.8} = 1.78 \text{ т/см}^2 < R_s \cdot \gamma_c = 2.250 \text{ т/см}^2$$

Прочность ребер жесткости на срез обеспечена.

Взам.инв.№		Подп. и дата		Инв.Неподп.		1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							20
Изм.	№уч.	Лист.	№доп.	Подп.	Дата		

Выполним расчет сварных швов поперечных рёбер к ВП

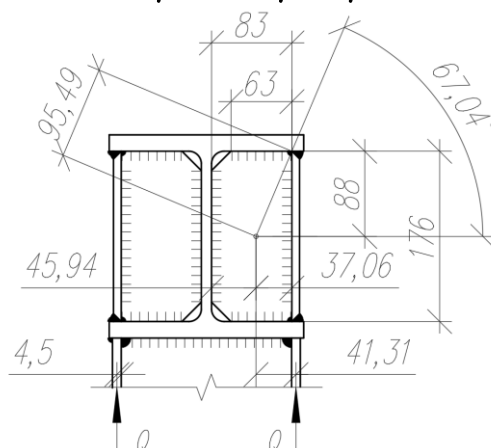


Рис. 2.2.2 Геометрические характеристики сечения к расчету сварных швов.

Так как $\beta_f \cdot R_{wf} = 0.7 \cdot 2.19 = 1.53 < \beta_z \cdot R_{wz} = 1.0 \cdot 2.16 = 2.16$,

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 16.13330.2011 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 от 2 до 26 мм $R_{un} = 490 \text{ Н/мм}^2 = 4.99 \text{ т/см}^2$ – табл. В.3 СП 16.13330.2011;

$$R_{wz}=0.45 \cdot 4.99 = 2.245 \text{ т/см}^2,$$

Сварной шов работает на срез от действия Q и M – суммарной нагрузки от действия N_c в полке стойки.

Условие прочности имеет вид:

$$\tau_f \leq R_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{Qf}^2 + \tau_{MQf}^2 + 2\tau_{Qf}\tau_{MQf}\cos\alpha}$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}$$

$$\tau_{MQf} = \frac{M\sqrt{x^2 + y^2}}{I_{fx} \cdot I_{fy}}$$

где: $Q = \frac{52.66}{2 \cdot 2} = 13.17 \text{ т}$ – срезующее усилие, на одну плоскость сварных швов;

$M = 13.17 \cdot 41.31 = 48.79 \text{ т} \cdot \text{см}$ – момент, вызванный поперечной силой;

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							21

τ_{Qf} – напряжение среза от действия поперечной силы, перенесённой в центр тяжести;

τ_{MQf} – напряжение среза от действия момента, вызванного поперечной силой;
 $\sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{37.06^2 + 88^2} = 95.49$ мм – расстояние до точки шва, наиболее удалённой от центра тяжести;

I_{fx}, I_{fy} – моменты инерции расчетного сечения сварного шва относительно его главных осей по металлу шва (при $\beta_f = 0.7$ см, $I_{fx} = 461.8$ см⁴, $I_{fy} = 174.7$ см⁴);

$\cos\alpha = \cos 67.04^\circ = 0.39$ – угол, определяемый размерами соединения;

$k_f = 0.6$ см – катет шва;

$l_w = 35.8$ см – расчетная длина сварных швов;

$$\tau_{Qf} = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{13.17}{0.7 \cdot 0.6 \cdot 35.8} = 0.946 \text{ т/см}^2$$

$$\tau_{MQf} = \frac{M \sqrt{x^2 + y^2}}{I_{fx} \cdot I_{fy}} = \frac{48.79 \cdot 95.49}{461.8 \cdot 174.7} = 0.821 \text{ т/см}^2$$

$$\tau_f = \sqrt{\tau_{Qf}^2 + \tau_{MQf}^2 + 2\tau_{Qf}\tau_{MQf}\cos\alpha} = \sqrt{0.946^2 + 0.821^2 + 2 \cdot 0.946 \cdot 0.821 \cdot 0.39}$$

$$\tau_f = 1.473 \text{ т/см}^2 \leq 2.19 \text{ т/см}^2$$

Прочность сварных швов поперечных ребер обеспечена.

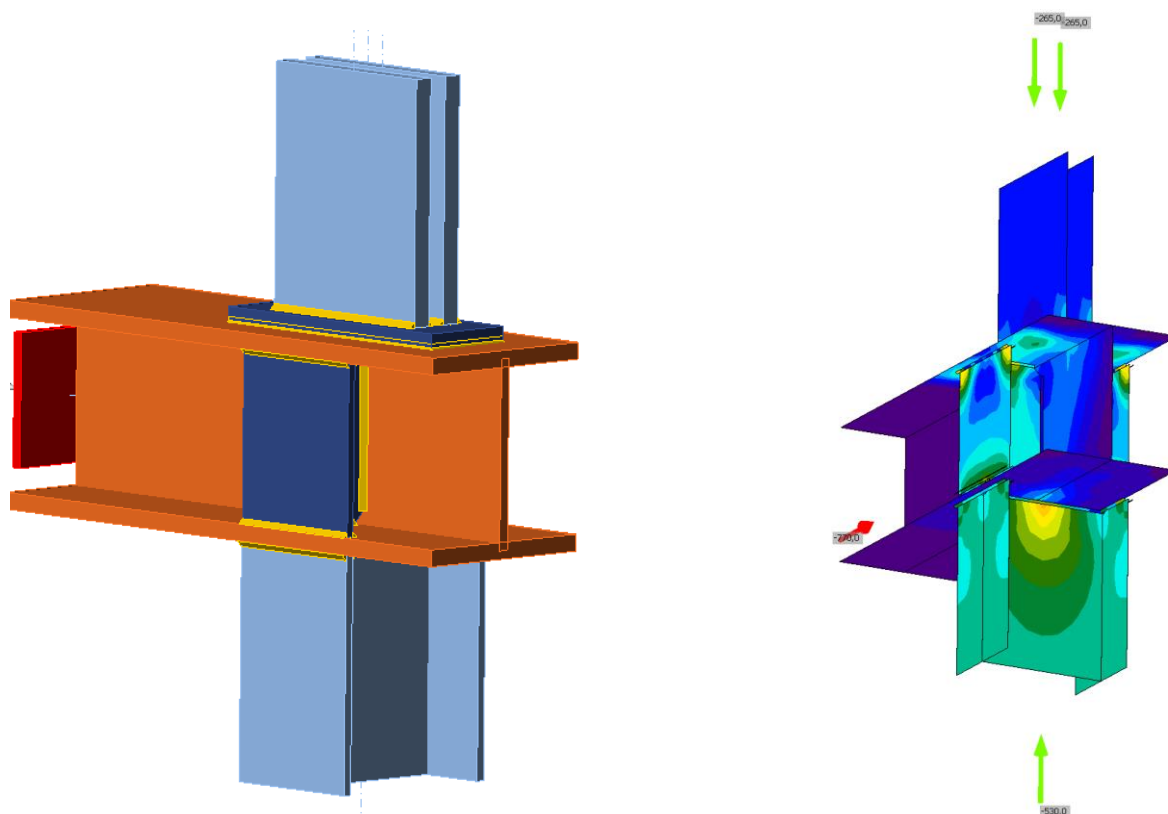
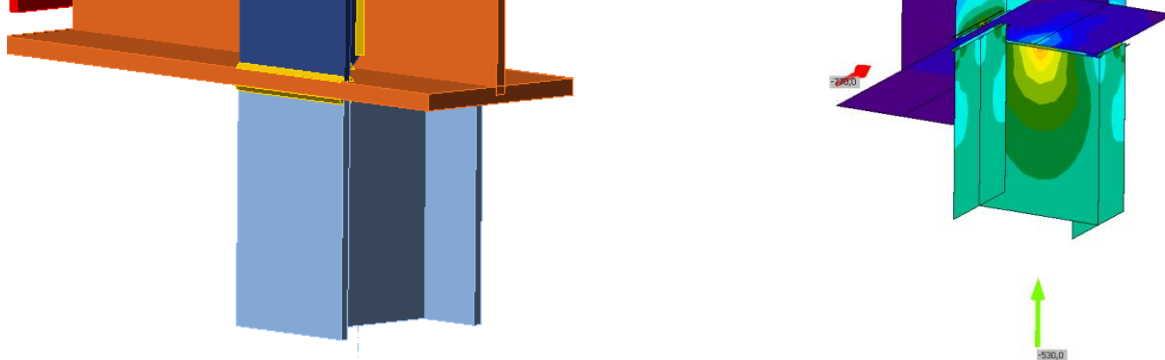


Рис. 2.2.3 Напряжения в узле из программы IDEA StatiCa.
(Даны справочно).

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
<p><i>Рис. 2.2.3 Напряжения в узле из программы IDEA StatiCa. (Даны справочно).</i></p>								
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2		Лист
								22
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата			

2.3. Узел №3

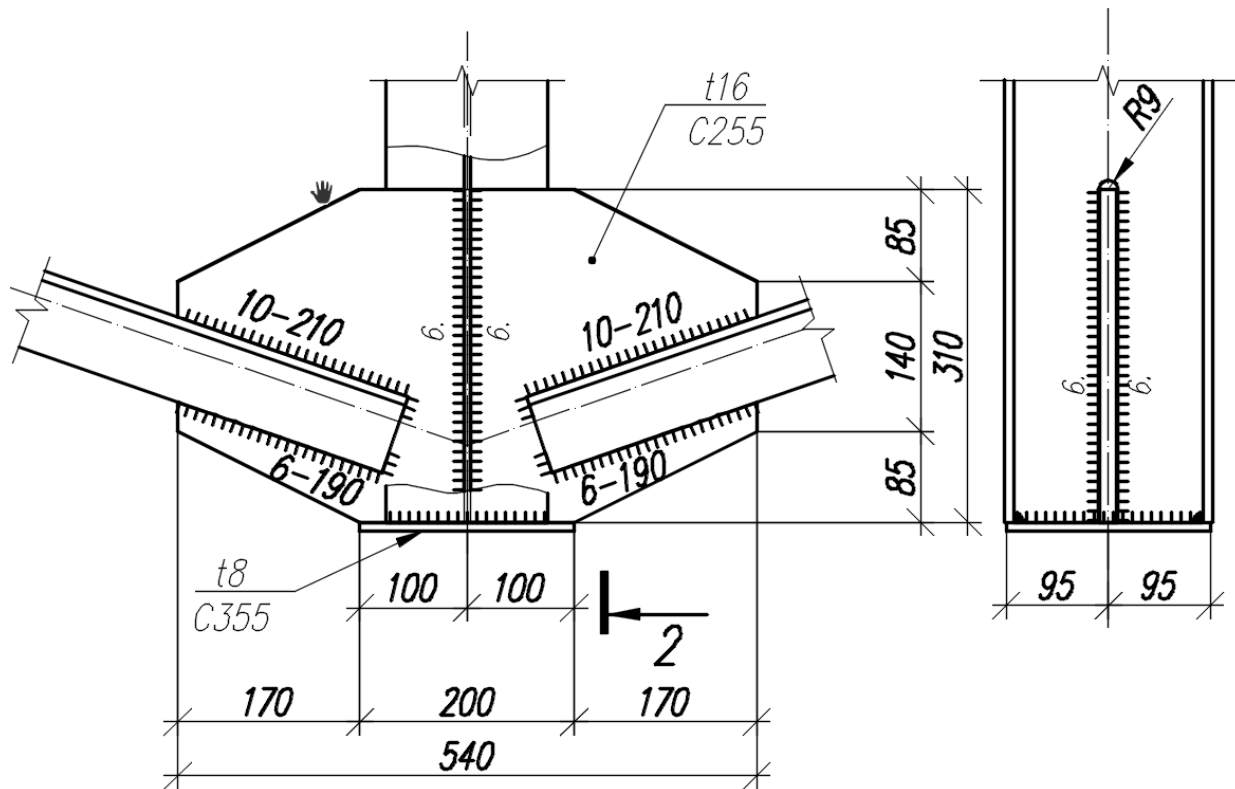


Рис. 2.3.1 Узел 3 подстропильной фермы ФП-12-55.

Исходные данные:

Стойка:

- сечение - двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б, $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 5 до 16мм по табл. В.4 СП16.13330.2017.

Раскосы:

- Сечение - 2 L 75x9;
- Сталь С355 $R_y = 350 \text{ Н/мм}^2 = 3.568 \text{ т/см}^2$ - табл. В.5 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 5 до 16мм);

Фасонка:

- $t=16 \text{ мм}$, сталь С255;
- $R_y = 240 \text{ Н/мм}^2 = 2.446 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 16 до 40 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Усилия:

- усилие в стойке: $N_c = -52.66 \text{ т}$, $Q=0 \text{ т}$;
- усилия в раскосе: $N_t = 80.718 \text{ т}$, $M = 0.0 \text{ тм}$, $Q = 0.061 \text{ т}$.

Изм.	№уч.	Лист.	№доп.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							23

Расчет крепления фасонки к стойке

- расчет сварных швов крепления фасонки к стойке

Расчет прочности сварных швов соединения фасонки со стойкой проверяем согласно п. 14.1.16 СП 16.13330.2011

$$\frac{N}{\beta_{f(z)} \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf(z)} \cdot \gamma_c} \leq 1$$

$$N = N_r = 52.66 \text{ т}$$

Так как $\beta_f \cdot R_{wf} = 0.7 \cdot 2.19 = 1.53 < \beta_z \cdot R_{wz} = 1.0 \cdot 1.697 = 1.697$,
дальнейший расчет ведем по металлу шва.

$\beta_f=0.7$, $\beta_z=1.0$ – 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 С255 при толщине от 2 до 20 мм $R_{un} = 370 \text{ Н/мм}^2 = 3.771 \text{ т/см}^2$ – табл. В.5 СП 16.13330.2017;

$$R_{wz}=0.45 \cdot 3.771 = 1.697 \text{ т/см}^2,$$

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

$$k_f = 0.6 \text{ см}$$

$$l_w = h_\phi - 1 \text{ см} = 19.0 - 1 = 18.0 \text{ см}$$

Тогда

$$\frac{N}{n_{шв} \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{52.66}{4 \cdot 0.7 \cdot 0.6 \cdot 18.0 \cdot 2.19 \cdot 1} = 0.795 < 1$$

Прочность сварного шва крепления ребра обеспечена.

- проверка стенки стойки на срез

Согласно п. 8.2.1 СП 16.13330.2011 расчет на прочность элемента при действии в сечении поперечной силы выполняется по формуле:

$$\frac{Q_s \cdot S}{I \cdot t \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

$$Q = 52.66 \text{ т}$$

Для прямоугольного сечения:

$$S = t_w \cdot \frac{h_w}{2} \cdot \frac{h_w}{4} = \frac{t_w \cdot h_w^2}{8} - \text{статический момент отсеченной части сечения};$$

$$I = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} - \text{момент инерции сечения стенки};$$

Таким образом, проверка стенки выполняется по формуле:

Взам. инв. №																						
Подп. и дата																						
Инв. Не подл.																						
<p>- проверка стенки стойки на срез</p> <p>Согласно п. 8.2.1 СП 16.13330.2011 расчет на прочность элемента при действии в сечении поперечной силы выполняется по формуле:</p> $\frac{Q_s \cdot S}{I \cdot t \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$ $Q = 52.66 \text{ т}$ <p>Для прямоугольного сечения:</p> $S = t_w \cdot \frac{h_w}{2} \cdot \frac{h_w}{4} = \frac{t_w \cdot h_w^2}{8} - \text{статический момент отсеченной части сечения};$ $I = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} - \text{момент инерции сечения стенки};$ <p>Таким образом, проверка стенки выполняется по формуле:</p>																						
<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="3">1.01.08-У10-1-РПЗ.2</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>24</td></tr><tr><td>Изм.</td><td>№ уч.</td><td>Лист</td><td>№ док.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>								1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист							24	Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист															
							24															
Изм.	№ уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																	

$$\frac{Q_s \cdot S}{I \cdot t \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{1.5 \cdot Q_s}{t \cdot h \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

По двум плоскостям среза:

$$\frac{1.5 \cdot 52.66}{2 \cdot 30.0 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1} = 0.976 < 1$$

где $h_w = 31.0 - 1.0 = 18.0$ см – высота срезаемой части стенки колонны (за вычетом 1 см на непровар);

$t_w = 0.6$ см – толщина стенки колонны;

$R_s = 0.58R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247$ т/см² – расчетное сопротивление сдвигу по т. 2 СП 16.13330.2011;

γ_c – коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16.13330.2011, примечание 5: $\gamma_c = 1$).

Проверка фасонки на срез:

$$\frac{Q_s \cdot S}{I \cdot t \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{1.5 \cdot Q_s}{t \cdot h \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

$$Q = N_c = 52.66 \text{ т}$$

По двум плоскостям среза:

$$\frac{1.5 \cdot 52.66}{2 \cdot 30.0 \cdot 1.6 \cdot 1.419 \cdot 1} = 0.580 < 1$$

где $h_w = 19.0 - 1.0 = 18.0$ см – высота срезаемой части стенки колонны (за вычетом 1 см на непровар)

$t_w = 1.0$ см – толщина ребра

$R_s = 0.58R_y = 0.58 \cdot 2.446 = 1.419$ т/см² – расчетное сопротивление сдвигу по т. 2 СП 16.13330.2011.

γ_c – коэффициент условий работы шва (по табл. 1 СП 16.13330.2011, примечание 5: $\gamma_c = 1$).

Прочность фасонки на срез обеспечена.

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №	
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							25
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата		

10/10/2014



Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

3.1. Узел №1

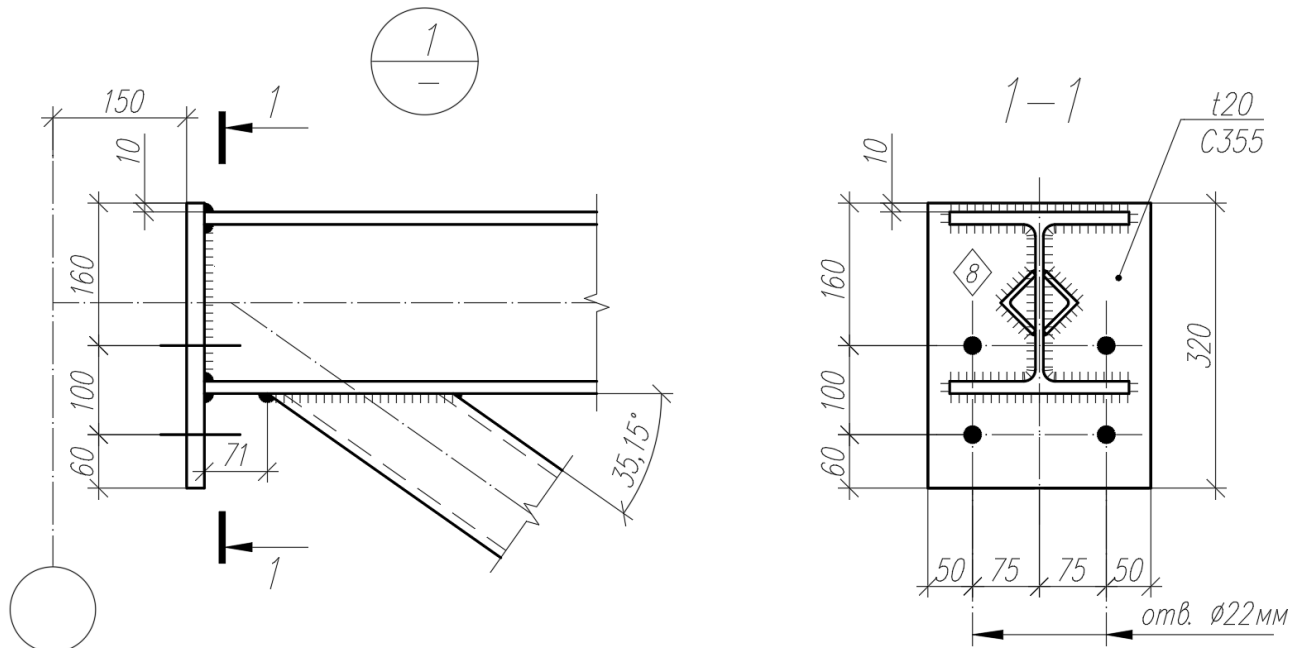


Рис. 2.1.1 Узел 1 подстропильной фермы ФП-12-71,2.

Исходные данные:

Опорный фланец:

- $t = 2,0$ см шириной $b=25,0$ см;
- сталь С355, $R_y=350$ Н/мм²=3.568 т/см².

Верхний пояс (ВП):

- сечение - Двутавр 20КЗ;
- 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 120х6;
- 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): $Q=36.4$ т, $N=-0.7$ т;
- усилия в поясе (опорный участок у раскоса): $Q=36.4$ т, $N=-0.7$ т, $M=1.86$ тм;
- усилия в поясе (первая панель со стороны растянутого раскоса): $N=-53.4$ т, $M=1.13$ тм;
- усилия в раскосе: $N=63,7$ т, $M=0.701$ тм.

Взам. инв. №		<ul style="list-style-type: none">- сечение – ГСП 120х6;- 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.							
Подп. и дата		<p>Усилия:</p> <ul style="list-style-type: none">- опорные усилия в поясе (опорный участок у фланца): $Q=36.4 \text{ т}$, $N=-0.7 \text{ т}$;- усилия в поясе (опорный участок у раскоса): $Q=36.4 \text{ т}$, $N=-0.7 \text{ т}$, $M=1.86 \text{ тм}$;- усилия в поясе (первая панель со стороны растянутого раскоса): $N=-53.4 \text{ т}$, $M=1.13 \text{ тм}$;- усилия в раскосе: $N=63,7 \text{ т}$, $M=0.701 \text{ тм}$.							
Инв. №подл.								1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
									27
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата				

Расчет узла примыкания раскоса к поясу:

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

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

- несущая способность участка пояса на отгиб полки:

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

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

при $d_b = d$ - по формуле (104):

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

где $N = 63.7$ т - усилие в элементе решетки;

$M = 0.701$ 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;

$A = 73.6$ см² - площадь поперечного сечения двутавра пояса;

$t = 14$ мм - толщина полки двутавра пояса;

$D = 201$ мм - ширина полки двутавра пояса;

$t_w = 9$ мм - толщина стенки двутавра пояса;

$r = 13$ мм - радиус закругления пояса

$R_{yd} = 3.568$ т/см² - расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 26.43$ см² - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

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

$d = 120$ мм - ширина раскоса из ГСП;

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

$\alpha = 35.15^\circ$ - угол примыкания раскоса.

Взам. инв. №		$A = 73.6 \text{ см}^2$ - площадь поперечного сечения двутавра пояса; $t = 14 \text{ мм}$ - толщина полки двутавра пояса; $D = 201 \text{ мм}$ - ширина полки двутавра пояса; $t_w = 9 \text{ мм}$ - 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; $A_d = 26.43 \text{ см}^2$ - площадь поперечного сечения раскоса из ГСП; $d_b = 120 \text{ мм}$ - высота раскоса из ГСП; $d = 120 \text{ мм}$ - ширина раскоса из ГСП; $t_d = 6 \text{ мм}$ - толщина раскоса из ГСП; $\alpha = 35.15^\circ$ - угол примыкания раскоса.							
Подп. и дата									
Инв. №подл.									
								1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
									28
		Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата		

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

$$|63.7| + \frac{|0.701|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[1.0 \cdot 3.874 \cdot 14^2 \cdot \frac{2 \cdot 201 \cdot \sqrt{2} + 120}{120 \cdot \sin 35.15} + 3.568 \cdot 6 \cdot 120 \right]$$

$$63.76 \text{ T} \leq 91.23 \text{ T}$$

– несущая способность участка стенки пояса:

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

– несущая способность поперечного сечения пояса:

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

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

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

- несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу:

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

где $\gamma_d = 1.2$ - коэффициент влияния знака усилия в элементе (п.14.3.2.2 СП 16):

 $\gamma_d = 1.2$ - при растяжении; $\gamma_d = 1.0$ - при сжатии.

						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							29
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата		

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 $q/b \leq 0,25$ по формуле (91):

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

– для 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):

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

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

$\beta_1=0.7$ – 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);

$k_f = 7$ мм - катет шва;

$g/b = g/(d_b/\sin \alpha) = 35.35/(120/\sin 35.15^\circ) = 0.17 < 0.25$, расчет прочности
сварного шва выполняем по ф.91.

$$\begin{aligned} & \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ & = \left(63.7 + \frac{0.5 \cdot 0.701}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 201/14) \cdot \sin 35.15^\circ}{0.7 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 35.15^\circ + 120)} = 0.84 \\ & 0.84 \leq 1 \end{aligned}$$

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

Расчет опорного фланца

- проверка опорного фланца на прочность:

Принимаем опорный фланец из стали С355 $R_y = 3,568 \text{ т/см}^2$, $t = 2,0 \text{ см}$, шириной $b=25,0 \text{ см}$.

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

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

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

$$t_r = 2.0 \text{ см} \geq 3 \cdot 25.0 \cdot \sqrt{3.568 / 2100}$$

$$t_r = 2.0 \text{ см} \geq 1.55 \text{ см}$$

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 $a > 1,5 \cdot t$.

$$a = 10.6 \text{ см} > 1,5 \cdot 2.0 = 3.0 \text{ см}$$

Условие прочности имеет вид:

$$\frac{Q}{b \cdot t} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

$$\frac{36.29}{25.0 \cdot 2.0} \leq 3.568 \cdot 1.0$$

$$0.73 \frac{\text{Т}}{\text{см}^2} \leq 3.568 \frac{\text{Т}}{\text{см}^2}$$

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:

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

Так как $R_{wf} = 2.19 < R_{wz} = 2.385$, 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.

Взам. инв. №		<p>- 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:</p> <p>$R_{wz} = 0.45 \cdot 4.995 = 2.248 \text{ т/см}^2$,</p> <p>- для металла пояса С390Б при толщине до 30 мм $R_{un} = 520 \text{ Н/мм}^2 = 5.301 \text{ т/см}^2$</p> <p>- табл. В.4 СП 16.13330.2011:</p> <p>$R_{wz} = 0.45 \cdot 5.301 = 2.385 \text{ т/см}^2$,</p> <p>Так как $R_{wz} = 2.248 < R_{wz} = 2.385$, принимаем в расчет границу сплавления по основному металлу фланца.</p> <p>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.</p>						
		Подп. и дата						
Инв. Неопл.								
		1.01.08-У10-1-РПЗ.2						
						31		
Изм.	№ изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

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

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

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

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

N, Q – силы, действующие на сварной шов:

$$N = -0.7 \text{ т};$$

$$Q = 36.4 \text{ т};$$

$S_f^{\text{отс}}$ – статический момент отсеченной части расчетного сечения сварного шва ($S_f^{\text{отс}} = 290.3 \text{ см}^3$);

I_f – момент инерции расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при $\beta_f = 0.7$, $I_f = 5393.1 \text{ см}^4$);

$k_f = 0.8 \text{ см}$ – катет шва;

$l_w = 98.4 \text{ см}$ – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} = \frac{0.7}{0.7 \cdot 0.8 \cdot 98.4} = 0.013 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{\text{отс}}}{I_f \cdot 2k_f} = \frac{36.4 \cdot 290.3}{5393.1 \cdot 2 \cdot 0.8} = 0.82 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + 0)^2 + (\tau_{Qf} + 0)^2} = \sqrt{(0.013)^2 + (0.82)^2} = 0.82 \leq 2.19$$

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.42):

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

где $Q = 36.4 \text{ т}$ – опорная реакция фермы;

$S = 308.35 \text{ см}^4$ – статический момент сечения пояса;

$I = 5602.48 \text{ см}^2$ – момент инерции сечения пояса;

$t_w = 9.0 \text{ мм}$ – 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);

$$\frac{36.4 \cdot 308.35}{5602.48 \cdot 0.9 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.991 \leq 1$$

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	<p>$Q = 36.4 \text{ т}$ – опорная реакция фермы;</p> <p>$S = 308.35 \text{ см}^4$ – статический момент сечения пояса;</p> <p>$I = 5602,48 \text{ см}^2$ – момент инерции сечения пояса;</p> <p>$t_w = 9.0 \text{ мм}$ – толщина стенки двутавра пояса;</p> <p>$R_s = 0.58 \cdot R_y = 0.58 \cdot 3.874 = 2.247 \text{ т/см}^2$ – расчетное сопротивление стали пояса;</p> <p>$\gamma_c = 1.0$ – коэффициент условий работы (по табл. 1 СП 16, примечание 5);</p> $\frac{36.4 \cdot 308.35}{5602.48 \cdot 0.9 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.991 \leq 1$ <p>Несущая способность поперечного сечения верхнего пояса фермы на срез от действия опорной реакции обеспечена.</p>					
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата			

3.2. Узел №2

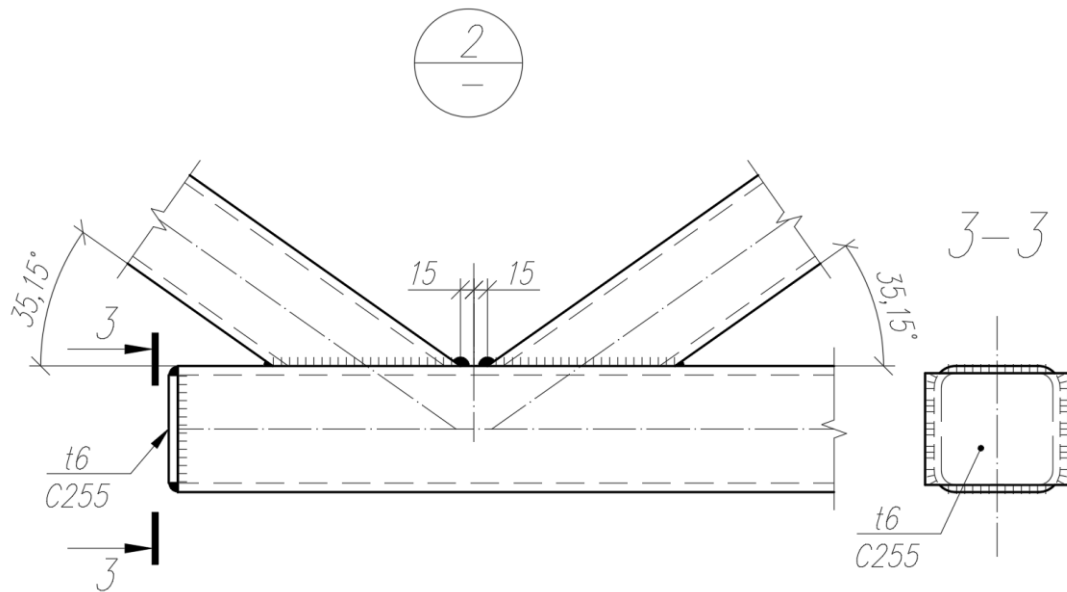


Рис. 2.2.1 Узел 2 подстропильной фермы ФП-12-71,2.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение - ГСП 140х7;
- 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 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;
- угол примыкания к поясу - 35.15° .

Раскос сжатый (правый):

- сечение - ГСП 120х9;
- 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 - 35.15° .

Усилия:

- усилия в поясе: $N = 104.23 \text{ т}$;
- усилия в растянутом раскосе: $N = 63.7 \text{ т}$, $M = 0.701 \text{ мм}$;
- усилия в сжатом раскосе: $N = -62.88 \text{ т}$, $M = 0.327 \text{ мм}$.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				
Усилия:			- угол примыкания к поясу - 35.15°.			
Раскос сжатый (правый):			- сечение - ГСП 120х9;			
			- 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 - 35.15°.			
Усилия:			- усилия в поясе: $N = 104.23 \text{ т}$;			
			- усилия в растянутом раскосе: $N = 63.7 \text{ т}$, $M = 0.701 \text{ тм}$;			
			- усилия в сжатом раскосе: $N = -62.88 \text{ т}$, $M = 0.327 \text{ тм}$.			

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b \cdot) f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_d \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2(b + g + \sqrt{2Df})} &= \\ = \left(63.7 + \frac{1.5 \cdot 0.701}{120}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/208.44) \cdot 10 \cdot \sin 35.15^\circ}{1 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 6^2(208.44 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 10})} &= 0.38 \\ 0.38 \leq 1 \end{aligned}$$

Для сжатого раскоса:

$$\begin{aligned} & \left(N + \frac{1.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot g/b \cdot) f \cdot \sin \alpha}{\gamma_D \cdot \gamma_d \cdot \gamma_c \cdot R_y \cdot t^2 (b + g + \sqrt{2Df})} = \\ & = \left(62.88 + \frac{1.5 \cdot 0.327}{120}\right) \cdot \frac{(0.4 + 1.8 \cdot 15/208.44) \cdot 10 \cdot \sin 35.15^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 9^2 (208.44 + 15 + \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 10})} = 0.42 \\ & 0.42 \leq 1 \end{aligned}$$

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 $d/D = 120/140 = 0.86 > 0.85$ следует проверять по формуле (88):

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

$\gamma_t = 1.0$ - коэффициент влияния тонкостенности пояса, для отношений $D_b/t \geq 0.25$, принимаемый равным 0.8, в остальных случаях - 1.0.

$$k - \text{коэффициент, при } 4 \left(\frac{t}{D_b} \right)^2 - \frac{R_y}{E} = 0.0083 > 6 \cdot 10^{-4}, k = 1.$$

$$\frac{N \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t \cdot k \cdot R_v \cdot t \cdot d_b} = \frac{62.88 \cdot \sin^2 35.15^\circ}{2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 7 \cdot 120} = 0.35 \leq 1$$

Несущая способность боковой стенки пояса в плоскости узла обеспечена.

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

Для растянутого раскоса:

$$\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} = \frac{(63.7 + 0.5 \cdot 0.701/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/6) \sin 35.15^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 26.43} = 0.6$$

$$0.6 \leq 1$$

Взам. инв. №	<p>Согласно п. 14.3.2.5 СП 294 несущая способность элемента решетки вблизи примыкания к поясу следует проверять по формуле (89):</p> $\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$					
	<p>где k – коэффициент, при $4 \left(\frac{t}{\max(d, d_b)} \right)^2 - \frac{R_y}{E} = 0.008 > 6 \cdot 10^{-4}$, $k = 1$.</p> <p>Для растянутого раскоса:</p> $\frac{(N + 0.5 \cdot M/d_b) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot D/t) \sin \alpha}{\gamma_d \cdot \gamma_c \cdot k \cdot R_{yd} \cdot A_d} =$ $= \frac{(63.7 + 0.5 \cdot 0.701/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/6) \sin 35.15^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 26.43} = 0.6$ $0.6 \leq 1$					
Подп. и дата						
Инв. №подл.						
Изм.	№уч.	Лист	№доку.	Подп.	Дата	
1.01.08-У10-1-РПЗ.2						Лист
						35

Для сжатого раскоса:

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

$$= \frac{(62.88 + 0.5 \cdot 0.327/120) \cdot (1.4 + 0.018 \cdot 120/9) \sin 35.15^\circ}{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.568 \cdot 38.57} = 0.48$$

$$0.48 \leq 1$$

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).

$k_f = 0.7$ 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:

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

$$= \left(63.7 + \frac{0.5 \cdot 0.701}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/6) \cdot \sin 35.15^\circ}{0.7 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 34.1^\circ + 80)} = 0.89$$

$$0.89 \leq 1$$

Для сжатого раскоса:

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

$$= \left(62.88 + \frac{0.5 \cdot 0.327}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 120/9) \cdot \sin 35.15^\circ}{0.7 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 35.15^\circ + 120)} = 0.75$$

$$0.75 \leq 1$$

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

Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист 36
Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата		

Взам.инв.№

Подп. и дата

Изм. №подл.

3.3. Узел №3

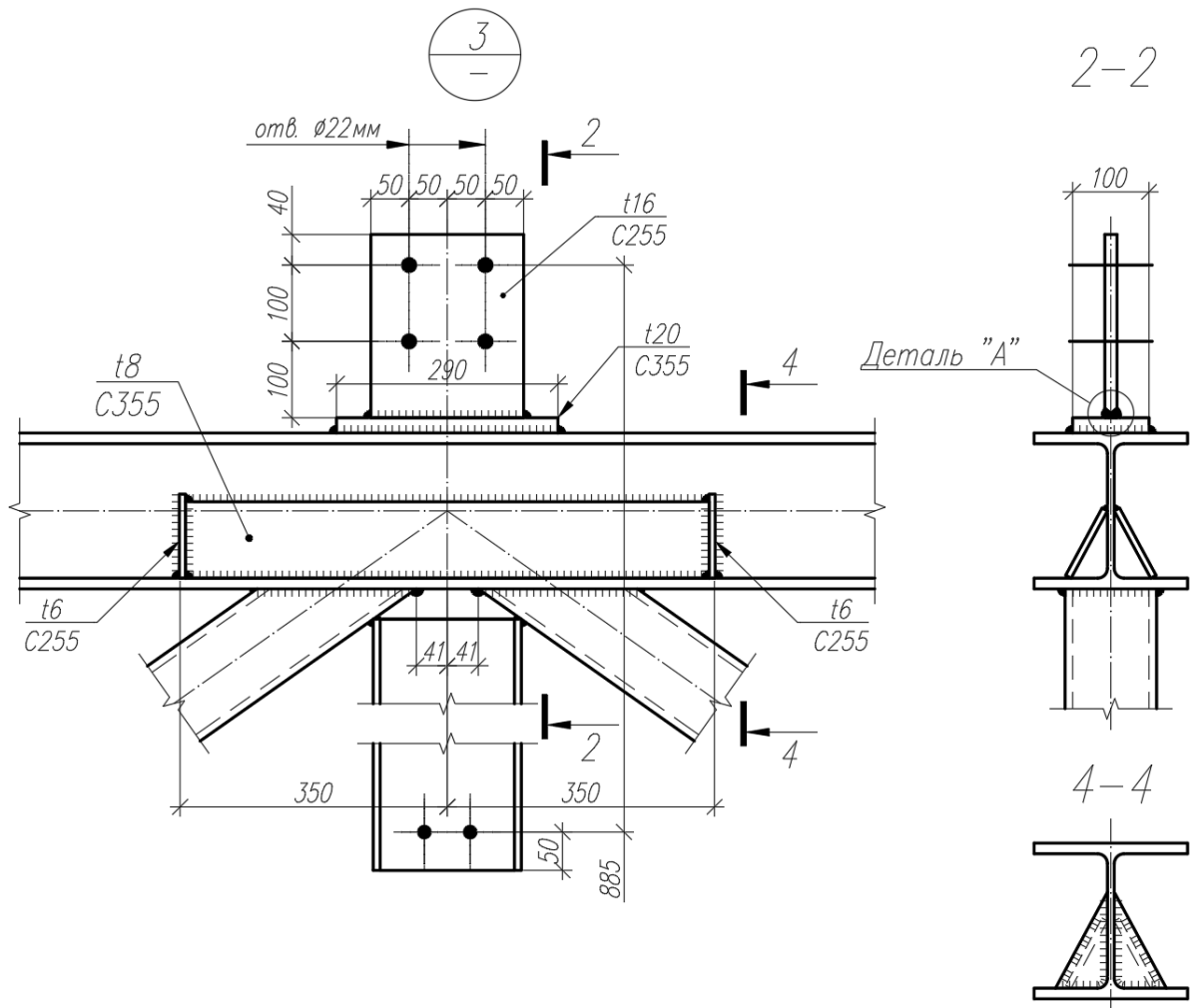


Рис. 3.2.1 Узел 3 подстропильной фермы ФП-12-71,2.

Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение - двутавр 20КЗ;
- сталь С390Б, $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 5 до 16мм по табл. В.4 СП16.13330.2017;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn} / \gamma_m = 0.58 \cdot 390 / 1.025 = 220.7 \text{ Н/мм} = 2.250 \text{ т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.13330.2017;

Стойка:

- сечение - двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б, $R_y = 380 \text{ Н/мм}^2 = 3.874 \text{ т/см}^2$ при толщине проката от 5 до 16мм по табл. В.4 СП16.13330.2017.

Усиление ВП:

- $t = 0,8 \text{ см}$;

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №				
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2
						Лист 37

$l_{wp}=74$ см – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{71.58}{0.7 \cdot 0.7 \cdot 74} = 1.97 \text{ т/см}^2$$

Таким образом:

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

$$\tau_{Nf} = 1.97 \text{ т/см}^2 < 2.19 \text{ т/см}^2.$$

Прочность сварного шва крепления опорной пластины стропильных ферм на верхний пояс подстропильной фермы обеспечена.

Проверка прочности стенки двутавра в месте приложения нагрузки

Согласно п. 8.2.2 СП 16.13330.2017 расчет на прочность стенки балки, не укрепленной ребрами жесткости, следует выполнять по формуле:

$$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \gamma_c} \leq 1$$

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{l_{ef} t_w}$$

где $F = N_c = 71.58$ т – расчетное значение нагрузки;

$l_{ef} = b + 2h$ – условная длина распределения нагрузки;

b – ширина опирания верхнего элемента;

h – размер, равный сумме толщины опорной пластины и расстояния от наружной грани полки до начала внутреннего закругления стенки;

$$l_{ef} = b + 2h = 20 + 2 \cdot (2 + 1.4 + 1.3) = 29.4 \text{ см}$$

$$\sigma = \frac{71.58}{0.9 \cdot 29.4 \cdot 3.874 \cdot 1} = 0.7 < 1$$

Прочность стенки на двутавра в месте приложения нагрузки обеспечена.

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 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):

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист 39

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

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 $0.2 < 0.5$.

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;

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

$A = 73.6 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения двутавра пояса;

$t = 14.0 \text{ мм}$ – толщина полки двутавра пояса;

$D = 201 \text{ мм}$ – ширина полки двутавра пояса;

$t_w = 9.0 \text{ мм}$ – толщина стенки двутавра пояса;

$r = 13.0 \text{ мм}$ – радиус закругления пояса.

– раскосы (сжатые):

$d_b = 120 \text{ мм}$ – высота раскоса из ГСП;

$d = 120 \text{ мм}$ – ширина раскоса из ГСП;

$t_d = 9.0 \text{ мм}$ – толщина раскоса из ГСП;

$\alpha = 35.15^\circ$ – угол примыкания раскоса;

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

$R_{yd} = 3.568 \text{ т/см}^2$ – расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 38.57 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

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

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

$$|-62.88| + \frac{0.327}{120} \leq 1.0 \cdot \left[3 \cdot 1.0 \cdot \frac{3.874 \cdot 14^2 \cdot 201}{120 \cdot \sin 35.15^\circ} + 3.568 \cdot 9 \cdot 120 \right]$$

$$65.61 \text{ т} \leq 104.8 \text{ т}$$

Несущая способность участка пояса на отгиб полки обеспечена.

– **участок стенки пояса, соответствующего сжатому 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):

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

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	$ -62.88 + \frac{ 0.327 }{120} \leq 1.0 \cdot \left[3 \cdot 1.0 \cdot \frac{3.874 \cdot 14^2 \cdot 201}{120 \cdot \sin 35.15^\circ} + 3.568 \cdot 9 \cdot 120 \right]$ $65.61 \tau \leq 104.8 \tau$ <p>Несущая способность участка пояса на отгиб полки обеспечена.</p> <p>- участок стенки пояса, соответствующего сжатому раскосу:</p> <p>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):</p> $N \cdot \sin \alpha / [10 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot (t + t_d)] \leq 1,$					
			1.01.08-У10-1-РПЗ.2					
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата			Лист
								40

$$|-62.88| \cdot \frac{\sin 35.15^\circ}{[10 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.874 \cdot 9 \cdot (14 + 9)]} \leq 1$$

$$0.45 \leq 1$$

Несущая способность участка стенки пояса, соответствующего сжатому раскосу обеспечена.

- поперечное сечение пояса у 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;

$$\chi = 1/\sqrt{1 + 16 \cdot (g^2/3t^2)} = 1/\sqrt{1 + 16 \cdot \left(\left(\frac{81.3}{2}\right)^2/(3 \cdot 14.0^2)\right)} = 0.15$$

$$62.88 \cdot \sin 35.15^\circ / (1.0 \cdot 2.250 \cdot [73.6 - (2 - 0.15) \cdot 20.1 \cdot 1.4 + (0.9 + 2 \cdot 1.3) \cdot 1.4]) \leq 1$$

$$0.61 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

- элемент решетки в зоне примыкания к поясу:

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

$$\frac{N \cdot (1 + 0.05 \cdot 0.14)}{\gamma_c \cdot \gamma_d \cdot R_{yd} \cdot A_d} \leq 1$$

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.

$$\frac{62.88 \cdot (1 + 0.05 \cdot 0.14)}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.568 \cdot 38.57} \leq 1$$

$$1.005 > 1$$

Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу не обеспечена.

Следовательно требуется подкрепление полки поясного двутавра наклонными планками.

- участок стенки пояса, соответствующий элементу решетки:

Согласно п. 15.2.10 СП 294 в узлах, усиленных наклонными планками, следует проверять несущую способность участка стенки двутаврового пояса, соответствующего элемента решетки по формуле (109):

$$|N| + |M|/d_b \leq 2 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_d \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot d / \sin \alpha$$

Взам. инв. №	<p>Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу <u>не обеспечена</u>.</p> <p>Следовательно требуется подкрепление полки поясного двутавра наклонными планками.</p> <p>- участок стенки пояса, соответствующий элементу решетки:</p> <p>Согласно п. 15.2.10 СП 294 в узлах, усиленных наклонными планками, следует проверять несущую способность участка стенки двутаврового пояса, соответствующего элемента решетки по формуле (109):</p> $ N + M /d_b \leq 2 \cdot \gamma_c \cdot \gamma_d \cdot \gamma_D \cdot R_y \cdot t_w \cdot d / \sin \alpha$						
Подп. и дата							
Инв. №подл.							
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист
							41
Изм.	№уч.	Лист.	№доку.	Подп.	Дата		

$$|62.88| + |0.327|/120 \leq 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.874 \cdot 9 \cdot 120 / \sin 35.15^\circ$$

$$65.61 \leq 145.33$$

Несущая способность участка стенки двутаврового пояса, соответствующего элемента решетки 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):

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

- 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):

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

- 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).

$k_f = 10$ мм – катет шва;

Для сжатого раскоса:

$$g/b = g/(d_b / \sin \alpha) = 41/(120 / \sin 35.15^\circ) = 0.2 < 0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

$$\begin{aligned} \left(N + \frac{0.5 \cdot M}{d_b}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 D/t) \cdot \sin \alpha}{\beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_c \cdot R_{wf} \cdot (2 \cdot d_b / \sin \alpha + d)} = \\ = \left(62.88 + \frac{0.5 \cdot 0.327}{120}\right) \cdot \frac{(1.06 + 0.014 \cdot 201/9) \cdot \sin 35.15^\circ}{0.7 \cdot 1.0 \cdot 1 \cdot 2.19 \cdot (2 \cdot 120 / \sin 35.15^\circ + 120)} = 0.62 \\ 0.62 \leq 1 \end{aligned}$$

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

Расчет сварных швов крепления стойки

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.

Инв. №подл.	Взам. инв. №					
	Подп. и дата					
	1.01.08-У10-1-РПЗ.2					
	Лист					
Изм.	№уч.	Лист.	№доп.	Подп.	Дата	42

$\beta_f=0.7$, $\beta_z=1.0$ – 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 16 до 40 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 опорного фланца к балке осуществляется при помощи сварки.

Сварной шов работает на срез от действия силы Q . Условие прочности имеет вид:

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

где:

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

τ_{Qf} – напряжение в металле шва от действия поперечной силы;

τ_{Mf} – напряжение в металле шва от действия момента;

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

$$\tau_{Qf} = \frac{3Q_{\Pi}}{2\beta_f \cdot k_f \cdot l_w};$$

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

$$N_f = 0.$$

$Q_c = 1.31 \text{ т}$ – усилие в стойке от смещения нижнего пояса фермы.

$M_c = 1.21 \text{ тм}$ – момент от поперечной силы Q .

W_f – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при $\beta_f = 0.7$, $W_f = 87.89 \text{ см}^3$)

$k_f = 0.8 \text{ см}$ – катет шва;

$l_w = 16 \text{ см}$ – расчетная длина швов в сварном соединении.

$$\tau_{Nf} = 0$$

$$\tau_{Qf} = \frac{3 \cdot 1.31}{2 \cdot 0.7 \cdot 0.8 \cdot 16} = 0.22 \text{ т/см}^2$$

$$\tau_{Mf} = \frac{121}{87.89} = 1.39 \text{ т/см}^2;$$

Таким образом:

$$\tau_f = \sqrt{(0 + 1.39)^2 + 0.22^2} = 1.4 \text{ т/см}^2 < 2.19 \text{ т/см}^2.$$

Прочность сварного шва крепления стойки обеспечена.

Изм.	№уч.	Лист.	№докум.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.2		Лист
								43
Ине.Неподл.	Подп. и дата	Взам.инв.№						

<p>W_f – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при $\beta_f = 0.7$, $W_f = 87.89 \text{ см}^3$) $k_f = 0.8 \text{ см}$ – катет шва; $l_w = 16 \text{ см}$ – расчетная длина швов в сварном соединении.</p> $\tau_{Nf} = 0$ $\tau_{Qf} = \frac{3 \cdot 1.31}{2 \cdot 0.7 \cdot 0.8 \cdot 16} = 0.22 \text{ т/см}^2$ $\tau_{Mf} = \frac{121}{87.89} = 1.39 \text{ т/см}^2;$ <p>Таким образом:</p> $\tau_f = \sqrt{(0 + 1.39)^2 + 0.22^2} = 1.4 \text{ т/см}^2 < 2.19 \text{ т/см}^2.$ <p>Прочность сварного шва крепления стойки обеспечена.</p>
--

4. 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 подстропильных ферм и подстропильных балок 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.2	Лист	
							44	
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.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
						1.01.08-У10-1-РПЗ.2	Лист	
							45	
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата			