

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

**1.01.08-У2-2-РПЗ.5
Расчёт узлов конструкций покрытия.**

Том 5. Расчет связей.

2023

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТ СВЯЗЕЙ Р1 И Р1Н.....	4
1.1. Исходные данные:.....	5
1.2. Расчет несущей способности распорки при сжатии	5
1.3. Расчет принимающей фасонки.....	6
1.3. Расчет фасонки связи	8
2. ВЫВОДЫ.....	13
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:.....	14

Инв. №подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №					
						1.01.08-У2-2-РПЗ.5					Лист
											2
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата						

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

Основными исходными данными, учтёнными в данной работе, являются:

- Техническое задание, Приложение №1 к договору №16-03/23-Р от 16.03.2023 (далее по тексту – Техническое задание);
- Альбом: «Конструкции покрытия из замкнутых гнутосварных профилей с верхним поясом из прокатного двутавра пролетом 18м, 24м. Уклон кровли 2%». Шифр–1.01.08-У2-2-КМ (далее по тексту Альбом).

Целями настоящей работы являются:

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

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

Дальнейший расчет произведен согласно СП 16.13330.2017 “Стальные конструкции” (далее СП 16), СП 294.1325800.2017 “Конструкции стальные. Правила проектирования.” (далее СП 294).

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	конструкции" (далее СП 16), СП 294.1325800.2017 "Конструкции стальные. Правила проектирования." (далее СП 294).					
						1.01.08-У2-2-РП3.5	Лист	
							3	
Изм.	№уч.	Лист	№докум.	Подп.	Дата			

1. РАСЧЕТ СВЯЗЕЙ P1 И P1H.

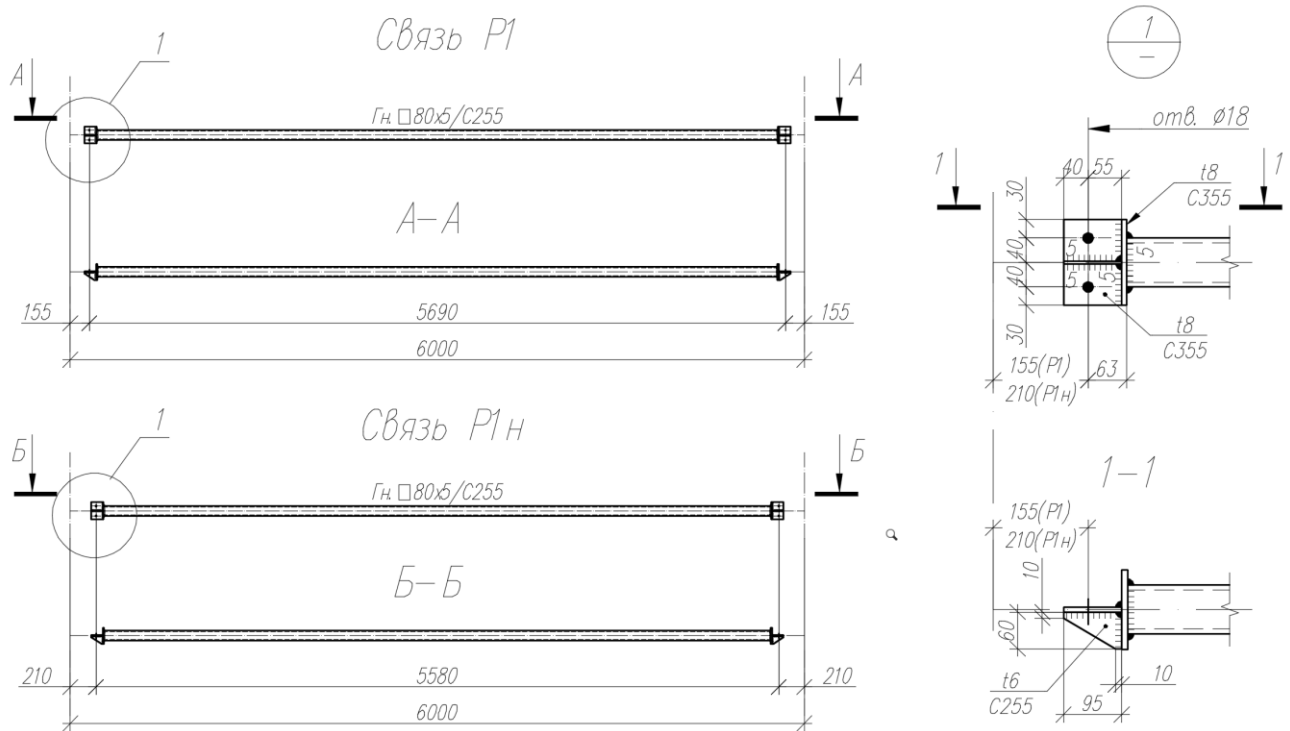


Рис. 1.1 Связи P1 и P1н.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
						1.01.08-У2-2-РПЗ.5	Лист	
							4	
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата			

1.1. Исходные данные:

Связи Р1 и Р1н:

- сечение – ГСП 80х80х5;
- сталь С255 $R_y=240/9.81/1000*100=2.45 \text{ т/см}^2$ – табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 0,5 до 10мм).

Фасонка связи:

- сечение – $t=8$;
- сталь – С355 $R_y=350/9.81/1000*100=3.566 \text{ т/см}^2$ – табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 2 до 16мм).

Ребро фасонки:

- сечение – $t=6$;
- сталь – С355 $R_y=350/9.81/1000*100=3.566 \text{ т/см}^2$ – табл. В.3 СП 16.13330.2017 (при толщине проката от 2 до 16мм).

Болты:

- болты крепления – М16 класса прочности 8.8, класса точности В.

Усилия, возникающие при наихудшем сочетании нагрузок:

- $N = -5.18 \text{ т}$;
- $M_y = 0 \text{ т} \cdot \text{м}$;
- $Q_x = 0 \text{ т}$;
- $M_x = N \cdot e_N = 5.18 \cdot 0.8 = 4.14 \text{ т} \cdot \text{см}$;
- $Q_y = 0 \text{ т}$.

1.2. Расчет несущей способности распорки при сжатии

Согласно 14.4.3 СП 294.1325800.2017 несущую способность при сжатии элементов связей следует проверять по формулам

$$\frac{N_{\phi}}{A_{fc} \cdot R_y} + \frac{N_{\phi} \cdot e_N}{W_{fc} \cdot R_y} \leq 1$$

$$\frac{N_{\phi}}{A \cdot R_y \cdot \gamma_f} + \frac{N_{\phi} \cdot e_N}{W \cdot R_y \cdot \gamma_f} \leq 1$$

Где $A=13.9 \text{ см}^2$, $W = 31.1 \text{ см}^3$ – площадь и момент сопротивления профиля;

$A_{fc}=14.86 \text{ см}^2$, $W_{fc} = 7.925 \text{ см}^3$ – площадь и момент сопротивления фасонки связи;

$e_N = 2.05 \text{ см}$ – расстояние от оси фасонки закрепляемой конструкции до центра

тяжести таврового сечения фасонки связи с ребром;

γ_f – коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от наибольшей условной гибкости профиля:

при $\bar{\lambda} \leq 0,45$, $\gamma_f = 0.6$;

при $\bar{\lambda} > 0,45$, $\gamma_f = 0.54 + 0.15\bar{\lambda}$, но не более 1;

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	
$\frac{A \cdot R_y \cdot \gamma_f}{W \cdot R_y \cdot \gamma_f} + \frac{A \cdot R_y \cdot \gamma_f}{W \cdot R_y \cdot \gamma_f} \leq 1$ Где $A=13.9 \text{ см}^2$, $W = 31.1 \text{ см}^3$ – площадь и момент сопротивления профиля; $A_{fc}=14.86 \text{ см}^2$, $W_{fc} = 7.925 \text{ см}^3$ – площадь и момент сопротивления фасонки связи; $e_N = 2.05\text{см}$ – расстояние от оси фасонки закрепляемой конструкции до центра тяжести таврового сечения фасонки связи с ребром; γ_f – коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от наибольшей условной гибкости профиля: при $\bar{\lambda} \leq 0,45$, $\gamma_f = 0.6$; при $\bar{\lambda} > 0,45$, $\gamma_f = 0.54 + 0.15\bar{\lambda}$, но не более 1;	
Изм.	№уч.
Лист.	№док.
Подп.	Дата
1.01.08-У2-2-РПЗ.5	
Лист	
5	

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{\mu \cdot l}{i_x} = \frac{1 \cdot 5690}{29.9} = 190.3$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 190.3 \cdot \sqrt{\frac{2.45}{2100}} = 6.5$$

$$\gamma_f = 0.54 + 0.15\bar{\lambda} = 0.54 + 0.15 \cdot 6.5 = 1.515,$$

принимаем $\gamma_f = 1$.

$$\frac{N_\phi}{A_{fc} \cdot R_y} + \frac{N_\phi \cdot e_N}{W_{fc} \cdot R_y} = \frac{5.18}{14.86 \cdot 3.57} + \frac{5.18 \cdot 2.05}{7.925 \cdot 3.57} = 0.47 \leq 1$$

$$\frac{N_\phi}{A \cdot R_y \cdot \gamma_f} + \frac{N_\phi \cdot e_N}{W \cdot R_y \cdot \gamma_f} = \frac{5.18}{13.9 \cdot 2.45 \cdot 1} + \frac{5.18 \cdot 2.05}{31.1 \cdot 2.45 \cdot 1} = 0.29 \leq 1$$

Условие выполняется, прочность сечения фасонки обеспечена.

1.3. Расчет принимающей фасонки

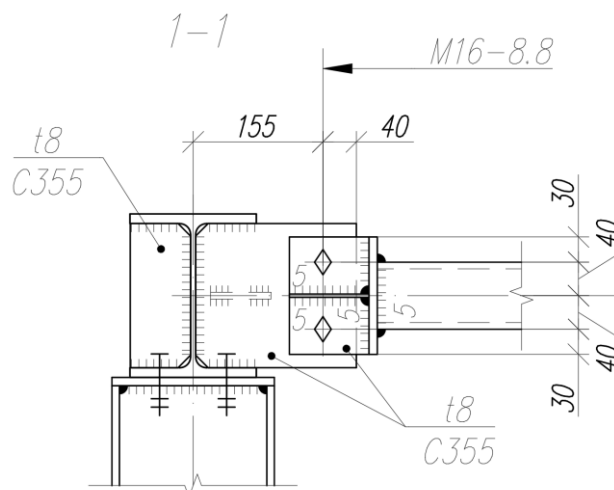


Рис. 1.3.1 Узел крепления связи.

- **расчет принимающей фасонки на сжатие с изгибом:**

Усилия, действующие в принимающей фасонке:

$$N_c = 5.18 \text{ т}$$

$$M_N = N_c \cdot e_N = 5.18 \cdot 0.8 = 4.14 \text{ т} \cdot \text{см}$$

Расчет в плоскости действия момента.

Согласно 9.2.2 СП 16.13330.2017 расчет на устойчивость сжато-изгибаемых элементов постоянного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	
Изм.	
№уч.	
Лист.	
№док.	
Подп.	
Дата	
1.01.08-У2-2-РПЗ.5	
Лист	
6	

$$\frac{N_{\phi}}{\varphi_e \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

где $A=17.2 \cdot 0.8 = 13.76 \text{ см}^2$ – площадь фасонки

φ_e – коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом, определяемый по табл. Д.3 СП 16.13330.2011 в зависимости от:

$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ – условная гибкость;

$m_{ef} = \eta \cdot m_x$ – приведенный относительный эксцентриситет;

$\eta = 1$ – коэффициент влияния формы сечения, определяемый по табл. Д.2 СП 16.13330.2017;

$m_x = e \frac{A}{W_c} = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{W}$ – относительный эксцентриситет;

$W = 1.835 \text{ см}^3$ – момент сопротивления сечения для наиболее сжатого волокна

Согласно 9.2.3 СП 16.13330.2017 при определении относительного эксцентриситета m_x для стержней с одним заземленным, а другим свободным концом принимаем за расчетный момент M_x момент в заделке.

$$m_x = \frac{M}{N_{\phi}} \cdot \frac{A}{W} = \frac{4.14}{5.18} \cdot \frac{13.76}{1.835} = 6;$$

$$m_{ef} = 1 \cdot 6 = 6;$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{\mu \cdot l}{0.289 \cdot h} = \frac{2 \cdot 13.6}{0.289 \cdot 0.8} = 117.78;$$

$$\bar{\lambda}_x = 117.78 \cdot \sqrt{\frac{3.57}{2100}} = 4.86;$$

Определяем коэффициент φ_e методом экстраполяции.

$$\varphi_e = 0.123;$$

$$\frac{5.18}{0.123 \cdot 13.76 \cdot 3.57 \cdot 1} = 0.857 < 1$$

Условие выполняется, прочность сечения фасонки обеспечена.

- расчет принимающей фасонки по ослабленному сечению:

Проверяем прочность связи по двум ослабленным сечениям согласно методике, изложенной Мухановым К. К.

Проверка сечения фасонки выполняется по формуле

$$\sigma = \frac{N_{\phi}}{A_n} \leq R_y \cdot \gamma_c$$

где σ – нормальное напряжение в ослабленном сечении от действия продольной силы

Площадь сечения нетто $A_n = (17.2 - 2 \cdot 1.8) \cdot 0.8 = 10.88 \text{ см}^2$

$$\sigma = \frac{5.18}{10.88} = 0.31 \text{ т/см}^2 < 3.57 \text{ т/см}^2$$

Име. Неподл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					1.01.08-У2-2-РП3.5		Лист
									7
			Изм.	№уч.	Лист.	№доп.	Подп.	Дата	

Условие выполняется, прочность сечения фасонки обеспечена.

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

$R_{bs}=3.384$ т/см² – табл. Г.5; СП 16.13330.2017;

$R_{bp}=6.575$ т/см² – табл. Г.6; СП 16.13330.2017;

$A_b=2.01$ см² – площадь сечения стержня болта brutto, принимаемая согласно табл. Г.9; СП 16.13330.2017;

$d_b=1.6$ см – наружный диаметр стержня болта;

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

$\sum t=0.8$ 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: $N_{bs} = 3.384 \cdot 2.01 \cdot 1 \cdot 0.9 \cdot 1 = 6.12$ т;

При смятии: $N_{bp} = 6.575 \cdot 1.6 \cdot 0.8 \cdot 0.9 \cdot 1 = 7.57$ 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.

$$n = \frac{N}{N_{b,min}} = \frac{5.18}{6.12} = 0.85$$

Количество болтов отвечает прочности соединения.

1.3. Расчет фасонки связи

- расчет фасонки связи на сжатие с изгибом:

Фасонка связи работает как консоль.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	1.3. Расчет фасонки связи							
			- расчет фасонки связи на сжатие с изгибом:							
			Фасонка связи работает как консоль.							
						1.01.08-У2-2-РПЗ.5				Лист
										8
Изм.	№уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата					

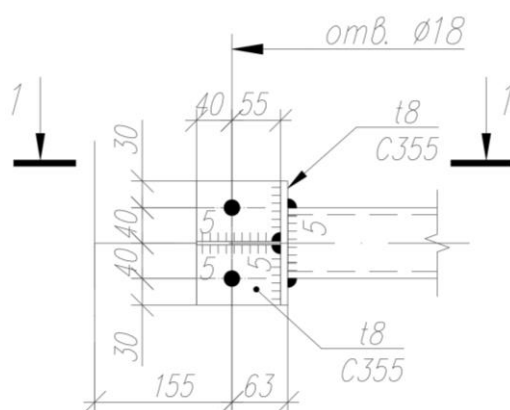


Рис. 1.3.1 Фасонка связи.

Расчет в плоскости действия момента.

Согласно 9.2.2 СП 16.13330.2017 расчет на устойчивость сжато-изгибаемых элементов постоянного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле

$$\frac{N_{\phi}}{\varphi_e \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Где $A=14.86 \text{ см}^2$ – площадь фасонки с ребром;

φ_e – коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом, определяемый по табл.

Д.3 СП 16.13330.2017 в зависимости от:

$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$ – условная гибкость;

$m_{ef} = \eta \cdot m_x$ – приведенный относительный эксцентриситет;

$\eta = 1$ – коэффициент влияния формы сечения, определяемый по табл. Д.2 СП

16.13330.2017;

$m_x = e \cdot \frac{A}{W_c} = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{W}$ – относительный эксцентриситет;

$W = 7.925 \text{ см}^3$ – момент сопротивления сечения для наиболее сжатого волокна

Согласно 9.2.3 СП 16.13330.2017 при определении относительного эксцентриситета m_x для стержней с одним зашечленным, а другим свободным концом принимаем за расчетный момент M_x момент в заделке.

$$m_x = \frac{M}{N_{\phi}} \cdot \frac{A}{W} = \frac{10.62}{5.18} \cdot \frac{14.86}{7.925} = 3.84;$$

$$m_{ef} = 1 \cdot 3.84 = 3.84;$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{\mu \cdot l}{0.289 \cdot h} = \frac{2 \cdot 5.5}{0.289 \cdot 0.8} = 47.63;$$

$$\bar{\lambda}_x = 47.63 \cdot \sqrt{\frac{3.57}{2100}} = 1.964;$$

Определяем коэффициент φ_e методом экстраполяции.

$$\varphi_e = 0.281;$$

$$\frac{5.18}{0.281 \cdot 14.86 \cdot 3.57 \cdot 1} = 0.348 < 1$$

Взам. инв. №		расчетный момент M_x момент в заделке.							
		$m_x = \frac{M}{N_\phi} \cdot \frac{A}{W} = \frac{10.62}{5.18} \cdot \frac{14.86}{7.925} = 3.84;$							
		$m_{ef} = 1 \cdot 3.84 = 3.84;$							
		$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{\mu l}{0.289 \cdot h} = \frac{2 \cdot 5.5}{0.289 \cdot 0.8} = 47.63;$							
		$\overline{\lambda}_x = 47.63 \cdot \sqrt{\frac{3.57}{2100}} = 1.964;$							
Подп. и дата		Определяем коэффициент φ_e методом экстраполяции.							
		$\varphi_e = 0.281;$							
		$\frac{5.18}{0.281 \cdot 14.86 \cdot 3.57 \cdot 1} = 0.348 < 1$							
Инв. №подл.								1.01.08-У2-2-РПЗ.5	Лист
									9
		Изм.	№уч.	Лист.	№доп.	Подп.	Дата		

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

$$\tau_z = \sqrt{(\tau_{Nz} + \tau_{Mz})^2 + (\tau_{Qz})^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{cz};$$

где:

$\gamma_{cf} = 0.8$ – коэффициент условий работы, учитывающий неравномерность передачи усилий;

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;

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

$$\tau_{Qf} = \frac{Q_z \cdot S^{отс}}{I_z \cdot 2k_{fs}};$$

$$\tau_{Mf} = \frac{M_{zy}}{W_{zy}};$$

N_f, Q_f, M_{fy} – силы, действующие на сварной шов:

$N_f = -5.18$ т;

$M_{fy} = 0.107$ т · м;

$Q_f = 0$ т;

W_{zy} – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при $\beta_z = 1.0$, $W_{zy} = 30.7$ см³);

$k_{fp} = 0.5$ см – катет шва;

$l_{wp} = 24.0$ см – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{5.18}{1.0 \cdot (0.5 \cdot 24.0)} = 0.43 \text{ т/см}^2$$

$$\tau_{Mf} = \frac{0.107}{30.7} = 0.35 \text{ т/см}^2;$$

Таким образом:

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

$$\tau_f = \sqrt{(0.43 + 0.35)^2 + 0^2} = 0.78 \text{ т/см}^2$$

$$0.78 \text{ т/см}^2 < 1.74 \cdot 0.8 \cdot 1 = 1.392 \text{ т/см}^2.$$

Прочность сварного шва крепления фланца к связи обеспечена.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	$\tau_f = \sqrt{(\tau_{Nf} + \tau_{Mf})^2 + \tau_{Qf}^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{cf};$ $\tau_f = \sqrt{(0.43 + 0.35)^2 + 0^2} = 0.78 \text{ т/см}^2$ $0.78 \text{ т/см}^2 < 1.74 \cdot 0.8 \cdot 1 = 1.392 \text{ т/см}^2.$ Прочность сварного шва крепления фланца к связи обеспечена.						
							1.01.08-У2-2-РП3.5		Лист
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата				12

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 связей 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-У2-2-РП3.5	Лист	
							13	
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-У2-2-РП3.5	Лист
										14
Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата					