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

Взам.инв.№	
Подп. и дата	
Инв.№подл.	

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ 2

ВВЕДЕНИЕ 3

1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/10-1,95 4

1.1. Узел №1 5

1.2. Узел №2 15

1.3. Узел №3 19

1.4. Узел №4 24

1.5. Узел №5 28

1.6. Узел №6 36

2. ВЫВОДЫ 39

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ: 40

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).

1. РАСЧЕТ УЗЛОВ ФЕРМЫ ФС-24/10-1,95

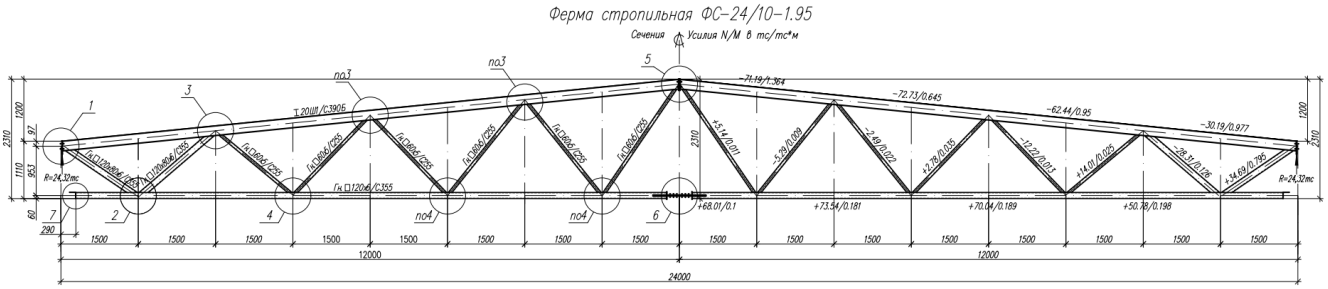


Рис. 1.1 Ферма ФС-24/10-1,95.

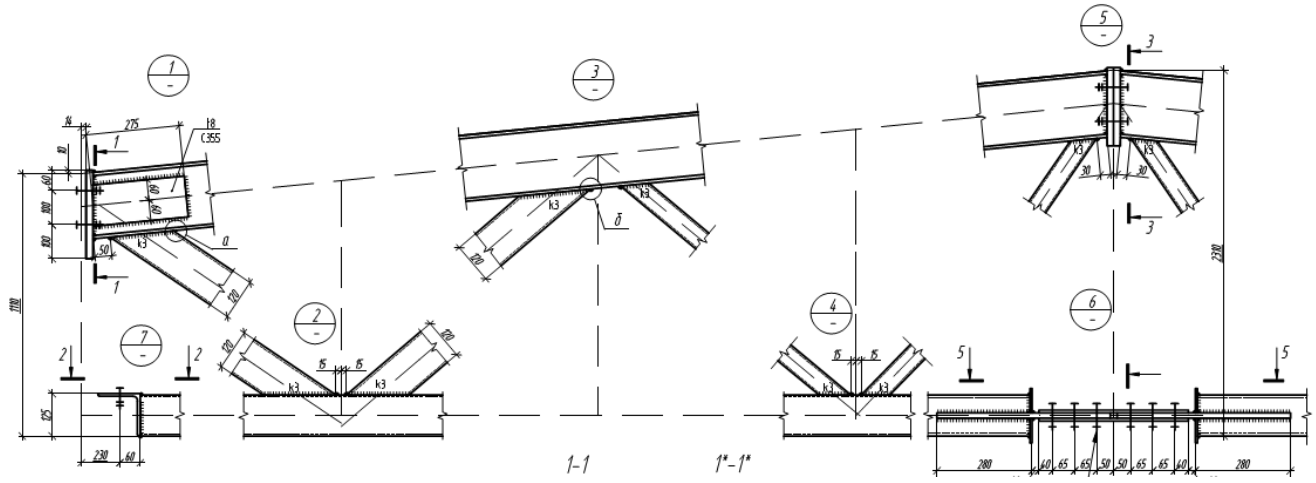


Рис. 1.2 Узлы фермы ФС-24/10-1,95.

Изм.	№уч.	Лист.	№док.	Подп.	Дата	1.01.08-У10-1-РПЗ.1	Лист 4

Взам.инв.№

Подп. и дата

Инв.№подл.

1.1. Узел №1

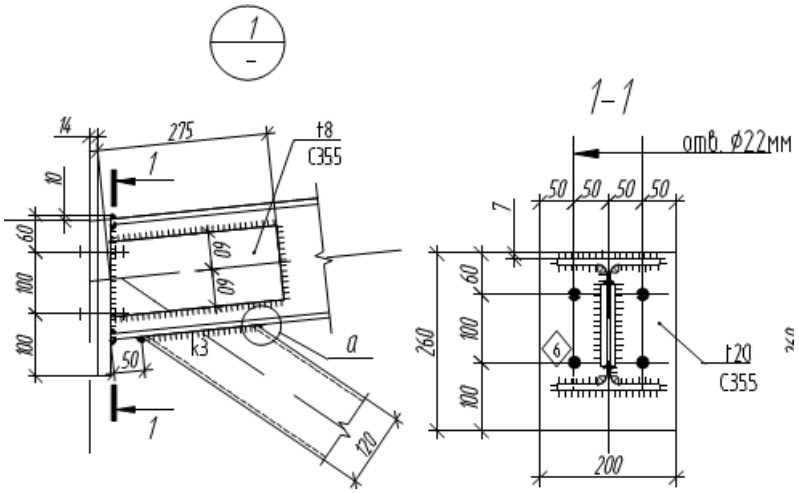


Рис. 1.1.1 Узел 1 фермы ФС-24/10-1,95.

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;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn}/\gamma_m = 0.58 \cdot 390/1.025 = 220.7\,\text{Н/мм}^2 = 2.250\,\text{т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.13330.2017.

Раскос:

- сечение – ГСП 120х80х6;
- 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;
- 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 с>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 $N = 30.2\,\text{т}$ – усилие в элементе решетки;

$M = 0.796\,\text{тм}$ – 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;

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

$A = 39.01\,\text{см}^2$ – площадь поперечного сечения двутавра пояса;

$t = 9\,\text{мм}$ – толщина полки двутавра пояса;

$D = 150\,\text{мм}$ – ширина полки двутавра пояса;

$t_w = 6\,\text{мм}$ – толщина стенки двутавра пояса;

$r = 13\,\text{мм}$ – радиус закругления пояса

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

$A_d = 21.63\,\text{см}^2$ – площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

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

$d = 80\,\text{мм}$ – ширина раскоса из ГСП;

$t_d = 6\,\text{мм}$ – толщина раскоса из ГСП;

$\alpha = 39.8°$ - угол примыкания раскоса.

Для узла 1 примыкающим раскосом является гн □120х80х6/С355, следовательно, выполняем расчет по ф.103:

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

$$|30.2| + \frac{|0.796|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[1.0 \cdot 3.874 \cdot 9^2 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2} + 120}{80 \cdot sin\,39.8°} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80\right]$$

$$36.833\ \text{т} \leq 45.5\ \text{т}$$

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):

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

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 $Q = N \cdot sin\,\alpha = 30.2 \cdot sin\,39.8° = 19.33\ \text{т}$ *– поперечная сила в узле;*

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

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

$$19.33/(1.0 \cdot 2.247 \cdot [39.81 - (2 - 0.15) \cdot 150 \cdot 9 + (6 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$$

$$0.486 \leq 1$$

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;*

$\gamma_d = 1.0$ *– 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≤0,9 и g/b≤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 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≤0,9 и g/b≤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:

β_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 Н/мм^2=2.19 т/см^2;

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

k_f=5 мм – катет шва;

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

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

$$=\left(30.2+\frac{0.5\cdot 0.796}{120}\right)\cdot\frac{(1.06+0.014\cdot 150/9)\cdot sin\,39.8°}{0.7\cdot 0.5\cdot 1\cdot 2.19\cdot(2\cdot 120/sin\,39.8°+80)}=0.796$$

$$0.796\leq 1$$

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 т/см^2, t = 2,0 см, шириной b=20,0 см.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Условие прочности имеет вид:

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

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

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

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:

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

β_f=0.7, β_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 Н/мм^2=2.19 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·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 Н/мм^2 = 4.995т/см^2 – табл. В.3 СП 16.13330.2011:

R_{wz}=0.45·4.995 = 2.248 т/см^2,

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

R_{wz}=0.45·5.301 = 2.385 т/см^2,

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

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

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

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

$$\tau_{\text{M}xf} = 0;$$

$$\tau_{\text{M}yf} = 0;$$

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

N, Q – силы, действующие на сварной шов:

$N = -3.12$ т;

$Q = 24.32$ т;

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

I_f – момент инерции расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при β_f =0.7, $I_f = 4534.9$ см^4);

k_f=0.7 см – катет шва;

l_w=72.0 см – расчетная длина швов в сварном соединении;

$$\tau_{Nf} = \frac{N}{\beta_f \cdot (k_f + 2) \cdot l_w} = \frac{3.12}{0.7 \cdot 7 \cdot 72} = 0.09 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_{Qf} = \frac{Q \cdot S_f^{\text{отс}}}{I_f \cdot 2k_f} = \frac{24.32 \cdot 236.6}{4534.9 \cdot 2 \cdot 7} = 0.91 \text{ т/см}^2;$$

$$\tau_f = \sqrt{\left(\tau_{Nf} + 0\right)^2 + \left(\tau_{Qf} + 0\right)^2} = \sqrt{(0.09)^2 + (0.91)^2} = 0.911 \ \leq 2.19$$

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 $Q = 24.32$т – опорная реакция фермы;

$S = 154.28$ см^4 – статический момент сечения пояса;

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

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

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

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

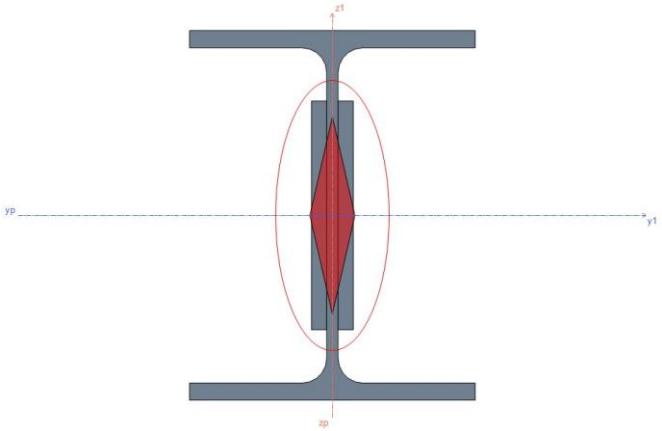
$$\frac{24.32 \cdot 154.28}{2689.74 \cdot 0.6 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 1.035 \leq 1$$

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

Необходимо усиление опорной части.

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

1 вариант – усиление пластинами



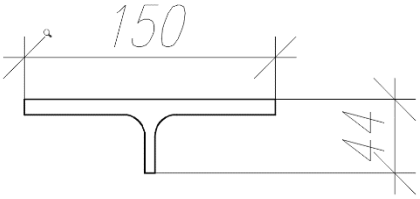
Элемент сечения	Зеркально
Двутавр балочный широкополочный по ГОСТ Р 57837-2017 20Ш1	-
Пластина 120х8	-
Пластина 120х8	-

Габариты 150 х 194 мм

Геометрические характеристики			
Название	Обозначения	Значение	Единицы измерения
Координата Y центра тяжести в глобальной системе координат	Yc	0	см
Координата Z центра тяжести в глобальной системе координат	Zc	0	см
Площадь поперечного сечения	F	58.29763	см^2
Момент инерции относительно вспомогательной оси Y2	Iy2	2926.17385	см^4
Момент инерции относительно вспомогательной оси Z2	Iz2	517.65645	см^4
Центробежный момент инерции относительно вспомогательных осей Y2 и Z2	Iy2z2	0	см^4
Радиус инерции относительно вспомогательной оси Y2	ry2	7.08475	см
Радиус инерции относительно вспомогательной оси Z2	rz2	2.97986	см

Угол поворота главных центральных осей инерции по отношению к вспомогательным осям Y2 и Z2	ф	0	°
Габаритная ширина поперечного сечения в глобальной системе координат	b	15	см
Габаритная высота поперечного сечения в глобальной системе координат	h	19.4	см
Периметр внешнего контура	Pext	146.53459	см
Периметр внутренних контуров	Pint	0	см
Полный периметр	Pall	146.53459	см

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



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

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

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

где $Q = 24.32$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;

$t_w = 6.0$ 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 $Q = 24.32$т – *опорная реакция фермы;*

$S = 244.2$ см^3 – *статический момент отсеченной части сечения;*

$I = 2926$ см^4 – *момент инерции сечения пояса;*

$t_w = 6.0 + 2 * 6.0 = 22.0$ мм – *толщина стенки двутавра пояса;*

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

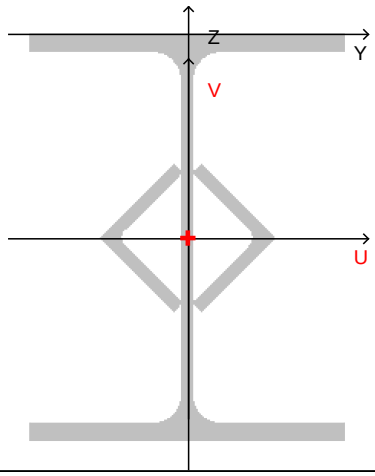
$\gamma_c = 1.0$ – *коэффициент условий работы (по табл. 1 СП 16, примечание 5);*

$$\frac{24.32 \cdot 244.2}{2926 \cdot 2.2 \cdot 2.247 \cdot 1.0} = 0.41 \leq 1$$

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

2 вариант – усиление уголками

Выполним расчет геометрических характеристик сечения пояса, усиленного уголками 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	см⁴
I_z	Момент инерции относительно центральной оси Z1 параллельной оси Z	569,127	см⁴
I_t	Момент инерции при свободном кручении	12,267	см⁴
i_y	Радиус инерции относительно оси Y1	7,362	см
i_z	Радиус инерции относительно оси Z1	3,361	см
W_{u+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси U	281,55	см³
W_{u-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси U	281,55	см³
W_{v+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси V	75,884	см³
W_{v-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси V	75,884	см³
$W_{pl,u}$	Пластический момент сопротивления относительно оси U	327,355	см³
$W_{pl,v}$	Пластический момент сопротивления относительно оси V	127,814	см³
I_u	Максимальный момент инерции	2731,034	см⁴
I_v	Минимальный момент инерции	569,127	см⁴
i_u	Максимальный радиус инерции	7,362	см
i_v	Минимальный радиус инерции	3,361	см
a_{u+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U)	1,506	см
a_{u-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U)	1,506	см
a_{v+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V)	5,587	см
a_{v-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V)	5,587	см
y_m	Координата центра масс по оси Y	0	см
z_m	Координата центра масс по оси Z	-9,7	см
I_1	Момент инерции относительно глобальной оси Y	2731,034	см⁴
I_2	Момент инерции относительно глобальной оси Z	5310,322	см⁴
I_p	Полярный момент инерции	3300,162	см⁴
i_p	Полярный радиус инерции	8,093	см
W_p	Полярный момент сопротивления	269,152	см³

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;

$t_w = 6.0 + 2 * 9.0 = 24.0\ \text{мм}$ – 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.

1.2. Узел №2

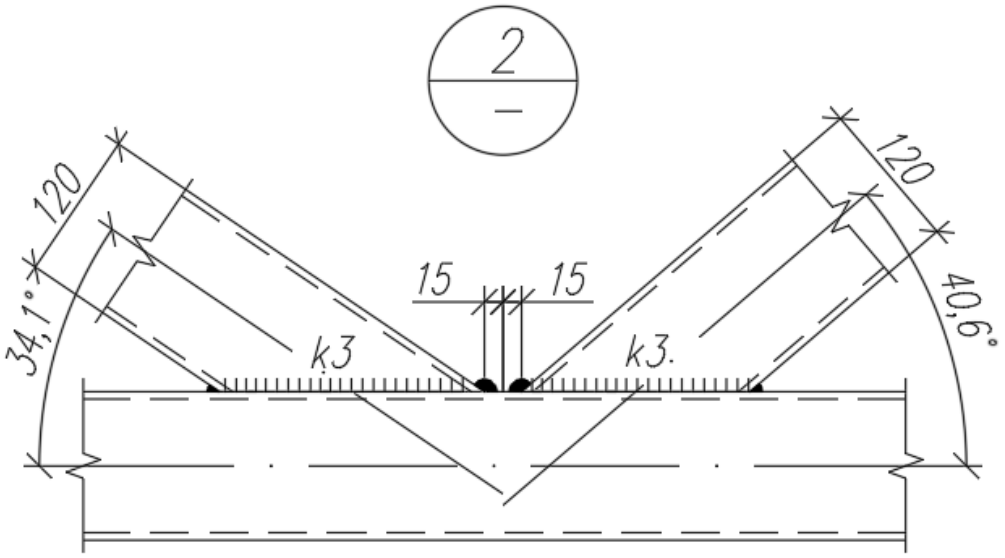


Рис. 1.2.1 Узел 2 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120х6;
- сталь С355;
- R_y = 350 Н/мм^2 = 3.568 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 Н/мм^2 = 3.568 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 Н/мм^2 = 3.568 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 т;
- усилия в растянутом раскосе: N = 34.69 т, M = 0.795тм;
- усилия в сжатом раскосе: N = -28.31 т, M = 0.126 тм.

Расчет узла примыкания раскоса к поясу:

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

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

– несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;

– прочность сварных швов.

– несущая способность стенки пояса:

В случае одностороннего примыкания к поясу двух и более элементов решетки с усилиями разных знаков, при $d/D = 80/120 = 0.667 < 0.9$ *и* $g/b = 15/184.4 = 0.08 < 0.25$ *несущую способность стенки пояса следует проверять для каждого примыкающего элемента по формуле (86):*

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

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

$D = 120$ мм *– ширина пояса из ГСП;*

$D_b = 120$ мм *– высота пояса из ГСП;*

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

$\gamma_D = 1.0$ *– коэффициент влияния продольной силы в поясе, определяемый при сжатии в поясе если* $|F|/(AR_y) > 0.5$, *по формуле*

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

в остальных случаях $\gamma_D = 1.0$;

$R_y = 3.568$ т/см^2 *– расчетное сопротивление стали пояса;*

$A = 26.43$ см^2 *– площадь поперечного сечения пояса;*

$t = 6.0$ мм *– толщина стенки пояса;*

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

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

α *– угол примыкания элемента решетки к поясу,* $\alpha = 34.1°$ *для растянутого раскоса и* $\alpha = 40.6°$ *– для сжатого.*

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

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

$A_d = 21.63$ см^2 *– площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;*

$b = d_b/\sin\alpha$ *– длина участка пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса (214.12мм – для растянутого раскоса, 184.4мм – для сжатого);*

g *– половина расстояния между смежными стенками элементов решетки;*

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

Для растянутого раскоса:

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

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

$$0.57\le 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$0.63\le 1$$

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):*

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

$d/D=80/120=0.667<0.85$, *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):

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

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:

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

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

$$=0.46$$

$$0.46\le 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$=0.41$$

$$0.41\le 1$$

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≤0,9 и g/b≤0,25 по формуле (91):

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

– проверка для ручной и механизированной сварки при d<1.4:

β_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 Н/мм^2=2.19 т/см^2;

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

k_f=0.5 см – катет шва;

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

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

Для растянутого раскоса:

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

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

$$0.66\le 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$0.73\le 1$$

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

1.3. Узел №3

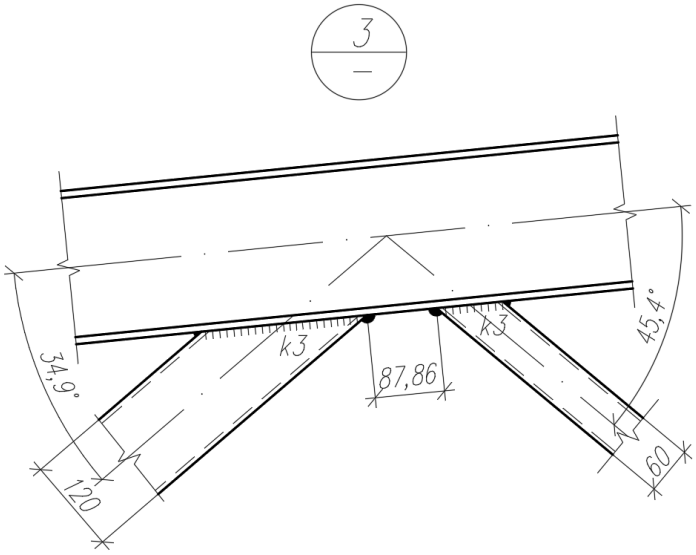


Рис. 1.3.1 Узел 3 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение – Двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б;
- R_y = 380 Н/мм2 = 3.874 т/см2 при толщине проката <30 мм по табл. В.4 СП16;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn}/\gamma_m = 0.58 \cdot 390/1.025 = 220.7\,\frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 2.250\,\text{т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.

Раскос сжатый (левый):

- сечение – ГСП 120х80х6;
- сталь С355;
- R_y = 350 Н/мм^2 = 3.568 т/см^2 при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу – 34,9°.

Раскос растянутый (правый):

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

Усилия:

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

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 ***c>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;*

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

$A = 39.01\,\text{см}^2$ *– площадь поперечного сечения двутавра пояса;*

$t = 9.0\,\text{мм}$ *– толщина полки двутавра пояса;*

$D = 150\,\text{мм}$ *– ширина полки двутавра пояса;*

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

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

- левый раскос (сжатый):

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

$d = 80\,\text{мм}$ *– ширина раскоса из ГСП;*

$t_d = 6.0\,\text{мм}$ *– толщина раскоса из ГСП;*

$\alpha = 34.9°$ *- 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;*

$A_d = 21.63\,\text{см}^2$ *– площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;*

- правый раскос (растянутый):

$d_b = 60$ мм – *высота раскоса из ГСП;*
$d = 60$ мм – *ширина раскоса из ГСП;*
$t_d = 5.0$ мм – *толщина раскоса из ГСП;*
$\alpha = 45.4°$ - *угол примыкания раскоса;*
$\gamma_d = 1.2$ – *коэффициент условий работы (п.14.3.2.2 СП 294);*
$R_{yd} = 2.446$ т/см^2 – *расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;*
$A_d = 10.36$ см^2 – *площадь поперечного сечения раскоса из ГСП.*

Для сжатого раскоса:

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

$$|28.31| + \frac{|0.126|}{120} \leq 0.9 \cdot 1.0 \cdot \left[1.0 \cdot 3.874 \cdot 9^2 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot \sqrt{2} + 120}{80 \cdot sin\,34.9°} + 3.568 \cdot 6 \cdot 80\right]$$

$$29{,}36\text{т} \leq 48{,}99\text{т}$$

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

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

$$|14.01| + \frac{|0.025|}{60} \leq 1.0 \cdot \left[3 \cdot 1.0 \cdot \frac{3.874 \cdot 9^2 \cdot 150}{60 \cdot sin\,45.4°} + 2.446 \cdot 5 \cdot 60\right]$$

$$14.43\text{т} \leq 40.26\text{т}$$

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):

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

$$|28.31| \cdot \frac{sin\,34.9°}{[10 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 5)]} \leq 1$$

$$0.5 \leq 1$$

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;

$$\chi = 1/\sqrt{1+16\cdot(g^2/3t^2)} = 1\Big/\sqrt{1+16\cdot\left(\left(\frac{87.86}{2}\right)^2/(3\cdot 9.0^2)\right)} = 0.088$$

$$28.31\cdot sin\,34.9/(1.0\cdot 2.250\cdot[39.01-(2-0.088)\cdot 15.0\cdot 0.9+(0.6+2\cdot 1.3)\cdot 0.9]) \le 1$$

$$0.45 \le 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

– поперечное сечение пояса у правого (растянутого) раскоса:

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

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

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

$$\chi = 1/\sqrt{1+16\cdot(g^2/3t^2)} = 1\Big/\sqrt{1+16\cdot\left(\left(\frac{87.86}{2}\right)^2/(3\cdot 9.0^2)\right)} = 0.088$$

$$14.69\cdot sin\,45.4°/(1.0\cdot 2.250\cdot[39.01-(2-0.088)\cdot 150\cdot 9+(6+2\cdot 13)\cdot 9]) \le 1$$

$$0.29 \le 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

– элемент решетки в зоне примыкания к поясу:

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

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

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.*

$$\frac{28.31\cdot(1+0.05\cdot 0.14)}{1.0\cdot 1.0\cdot 3.568\cdot 21.63} \le 1$$

$$0.37 \le 1$$

Несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу обеспечена.

– сварные швы прикрепления элемента решетки к поясу:

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

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

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

– 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≤0,9 и g/b≤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:

β_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 Н/мм^2=2.19 т/см^2;

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

k_f=5 мм – катет шва;

Для сжатого раскоса:

$$g/b=g/(d_b/sin\,\alpha)=43{,}93/(120/sin\,34.9°)=0.209<0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

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

$$=\left(28.31+\frac{0.5\cdot 0.126}{120}\right)\cdot\frac{(1.06+0.014\cdot 150/9)\cdot sin\,34.9°}{0.7\cdot 0.5\cdot 1\cdot 2.19\cdot(2\cdot 120/sin\,34.9°+80)}=0.557$$

$$0.557\leq 1$$

Для растянутого раскоса:

$$g/b=g/(d_b/sin\,\alpha)=43{,}93/(60/sin\,45.4°)=0.524>0.25,$$

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.92

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

$$=\left(14.01+\frac{0.5\cdot 0.025}{60}\right)\cdot\frac{\left(1+0.01\cdot\frac{(3+5\cdot 60/150-0.1\cdot 60/5)150}{9}\right)\cdot sin\,45.4°}{4\cdot 0.7\cdot 0.5\cdot 60\cdot 1\cdot 2.19}$$

$$=0.891$$

$$0.891\leq 1$$

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

1.4. Узел №4

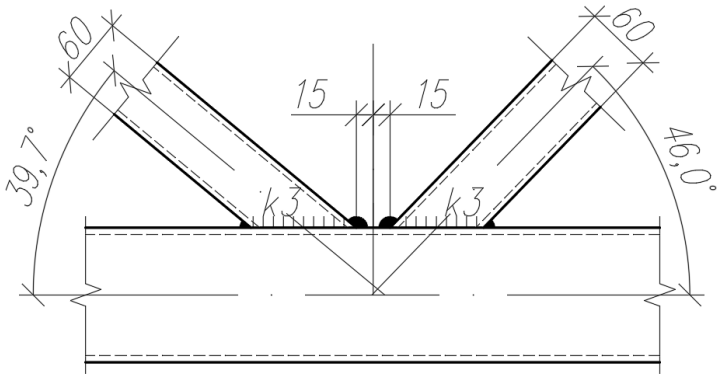


Рис. 1.4.1 Узел 4 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- *сечение – ГСП 120х6;*
- *сталь С355;*
- *R_y = 350 Н/мм² = 3.568 т/см² 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 Н/мм² = 2.446 т/см² при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;*
- *угол примыкания к поясу – 39,7°.*

Раскос сжатый (правый):

- *сечение – ГСП 60х5;*
- *сталь С255;*
- *R_y = 240 Н/мм² = 2.446 т/см² при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;*
- *угол примыкания к поясу – 46,0°.*

Усилия:

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

Расчет узла примыкания раскоса к поясу

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

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

– несущую способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу;

– прочность сварных швов.

– несущая способность стенки пояса:

В случае одностороннего примыкания к поясу двух и более элементов решетки с усилиями разных знаков, при $d/D = 60/120 = 0.5 < 0.9$ *и* $g/b = 15/93.9 = 0.16 < 0.25$ *(для растянутого раскоса),* $g/b = 15/83.41 = 0.18 < 0.25$ *(для сжатого), несущую способность стенки пояса следует проверять для каждого примыкающего элемента по формуле (86):*

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

где $d = 60$ мм *– ширина раскоса из ГСП;*

$D = 120$ мм *– ширина пояса из ГСП;*

$D_b = 120$ мм *– высота пояса из ГСП;*

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

$\gamma_D = 1.0$ *– коэффициент влияния продольной силы в поясе, определяемый при сжатии в поясе если* $|F|/(AR_y) > 0.5$, *по формуле*

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

в остальных случаях $\gamma_D = 1.0$;

$R_y = 3.568$ т/см^2 *– расчетное сопротивление стали пояса;*

$A = 26.43$ см^2 *– площадь поперечного сечения пояса;*

$t = 6.0$ мм *– толщина стенки пояса;*

$d_b = 60$ мм *– высота раскоса из ГСП;*

$t_d = 5.0$ мм *– толщина раскоса из ГСП;*

α *– угол примыкания элемента решетки к поясу,* $\alpha = 39.7°$ *для растянутого раскоса и* $\alpha = 46.0°$ *– для сжатого;*

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

$R_{yd} = 2.446$ т/см^2 *– расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;*

$A_d = 16.83$ см^2 *– площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;*

$b = d_b/\sin\alpha$ *– длина участка пересечения примыкающего элемента с поясом в направлении оси пояса (93.9мм – для растянутого раскоса, 83.41 мм – для сжатого);*

g *– половина расстояния между смежными стенками элементов решетки;*

$$f = (D - d)/2 = (120 - 60)/2 = 30 \text{ мм.}$$

Для растянутого раскоса:

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

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

$$0.65\le 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$0.83\le 1$$

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):*

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

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

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

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

Для растянутого раскоса:

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

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

$$0.63\le 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$0.62\le 1$$

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≤0,9 и g/b≤0,25 по формуле (91):

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

– проверка для ручной и механизированной сварки при d<1.4:

β_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 Н/мм^2=2.19 т/см^2;

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

k_f=0.5 см – катет шва;

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

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91.

Для растянутого раскоса:

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

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

$$0.64\le 1$$

Для сжатого раскоса:

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

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

$$0.68\le 1$$

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

1.5. Узел №5

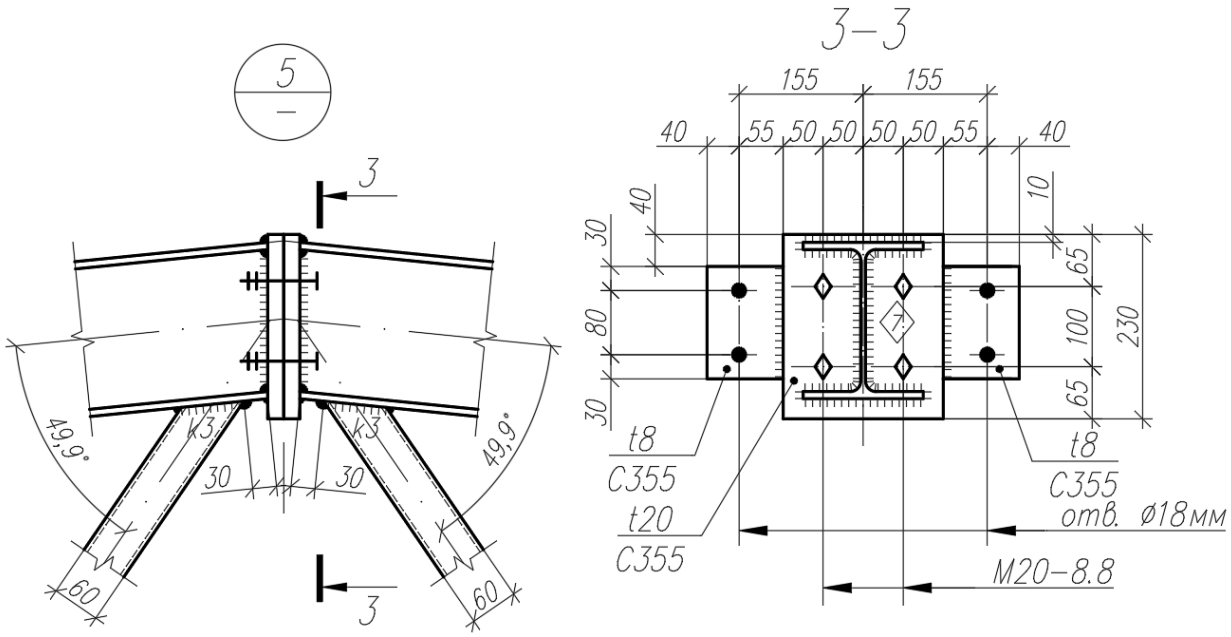


Рис. 1.5.1 Узел 5 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Верхний пояс (ВП):

- сечение – Двутавр 20Ш1;
- сталь С390Б;
- R_y=380 Н/мм²=3.874 т/см2 при толщине проката <30 мм по табл. В.4 СП16;
- $R_s = 0.58 \cdot R_{yn}/\gamma_m = 0.58 \cdot 390/1.025 = 220.7\,\frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 2.250\,\text{т/см}^2$ табл.2, табл.3 СП16.

Раскосы:

- сечение – ГСП 60х5;
- сталь С255 R_y = 240 Н/мм² = 2.446 т/см² при толщине проката от 4 до 10мм по табл. В.3 СП16.13330.2017;
- угол примыкания к поясу – 49,89°.

Фланец:

- t=20 мм, 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.

Усилия:

- усилия в поясе: N = –71.19 т, M = 1.364 тм;
- усилия в раскосе: N = 5.14 т, M = 0.011 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:

– 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 с≤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/см^2 – расчетное сопротивление стали пояса;

$A = 39.01$ см^2 – 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;

$\alpha = 49.89°$ - угол примыкания раскоса.

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

$R_{yd} = 2.446$ т/см^2 – расчетное сопротивление стали элемента решетки из ГСП;

$A_d = 10.36$ см^2 – площадь поперечного сечения раскоса из ГСП;

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

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

$$|5.14| + \frac{|0.011|}{60} \leq 1.0 \cdot \left[3 \cdot 1.0 \cdot \frac{3.874 \cdot 9^2 \cdot 150}{60 \cdot sin\,45.4°} + 2.446 \cdot 5 \cdot 60\right]$$

$$5.32\text{т} \leq 38.11\text{т}$$

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 растянутого элемента решетки из гнутосварного профиля следует проверять по формуле (106):

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

$$5.14 \cdot sin\,49.89° / [10 \cdot 1 \cdot 0.92 \cdot 3.874 \cdot 6 \cdot (9 + 5)] \leq 1$$

$$0.13 \leq 1$$

Несущая способность участка стенки пояса обеспечена.

– несущая способность поперечного сечения пояса:

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

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

где $Q = N \cdot sin\,\alpha = 5.14 \cdot sin\,49.89° = 3.93\text{т}$ *– поперечная сила в узле;*

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

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

Тогда:

$$3.93/(1.0 \cdot 2.247 \cdot [39.01 - (2 - 0.25) \cdot 150 \cdot 9 + (5 + 2 \cdot 13) \cdot 9]) \leq 1$$

$$0.11 \leq 1$$

Несущая способность поперечного сечения пояса обеспечена.

– несущая способность элемента решетки в зоне примыкания к поясу:

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

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

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

$\gamma_d = 1.2$ *– при растяжении;*

$\gamma_d = 1.0$ *– при сжатии.*

$$\frac{5.14 \cdot \left(1 + 0.14 \cdot \frac{60}{9}\right)}{1.0 \cdot 1.0 \cdot 2.446 \cdot 10.36} \leq 1$$

$$0.39 \leq 1$$

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≤0,9 и g/b≤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 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≤0,9 и g/b≤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:

β_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 Н/мм^2=2.19 т/см^2;

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

k_f=0.5 см – катет шва;

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

расчет прочности сварного шва выполняем по ф.91

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

$$=\left(5.14+\frac{0.5\cdot 0.01}{60}\right)\cdot\frac{(1.06+0.014\cdot 150/9)\cdot sin\,49.89°}{0.7\cdot 0.5\cdot 1\cdot 2.19\cdot(2\cdot 60/sin\,49.89°+60)}=0.37$$

$$0.37\leq 1$$

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:

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

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

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

– 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/см^2 – табл. Г.5; СП 16.13330.2017;

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

A_b=3.14 см^2 – площадь сечения стержня болта брутто, принимаемая согласно табл. Г.9; СП 16.13330.2017;

d_b=2.0 см – наружный диаметр стержня болта;

n_s=1 – число расчетных срезов одного болта;

Σt=2.0 см – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении;

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

γ_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):

$n = \frac{N}{N_{b,min}}$ *, где*

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

$N = Q = 3.22$ 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: $\tau_f = \sqrt{\left(\tau_{Nf} + \tau_{Mf}\right)^2 + \left(\tau_{Qf}\right)^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$

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

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

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

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

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

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

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

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

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

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

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

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

β_f=0.7, β_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 Н/мм^2=2.19 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·R_{un},

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

тогда

R_{wz}=0.45·5.3 = 2.39т/см^2,

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

Тогда

R_{wz}=0.45·4.995 = 2.25 т/см^2;

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

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

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

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

$N = -71.19$ т;

$M = 1.364$ т · м;

$Q = 3{,}22$т;

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

I_f – момент инерции расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при β_f =0.7, $I_f = 5876.8$ см^4);

W_f – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва (при β_f =0.7, W_f = 605.9 см^3)

I_z – момент инерции расчетного сечения сварного шва по границе сплавления (при β_z =1.0, $I_z = 6478.4$ см^4);

W_z – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по границе сплавления (при β_z =1.0, W_z = 667.9 см^3);

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

W_h = 805.9 см^3 – момент сопротивления расчетного сечения сварного шва по металлу шва.

k_f=0.7 см – катет шва;

l_w=72.0 см – расчетная длина швов в сварном соединении;

По металлу шва:

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

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

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

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

По металлу границы сплавления:

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

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

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

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

По металлу границы сплавления с фланцем в направлении толщины проката:

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

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

$$\tau_{\text{M}h} = \frac{M}{W_h} = \frac{1.364}{805.9} = 0.17\ \text{т/см}^2;$$

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

Условия выполняются, прочность швов обеспечена.

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

$$\psi_{zp} \leq \psi_{\text{zн}}$$

где ψ_{zp} – суммарный фактор риска;

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

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

$$\psi_{zp} = \psi_{\text{zф}} + \psi_{\text{zт}} + \psi_{\text{zш}} + \psi_{\text{zж}} + \psi_{\text{zс}}$$

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

$\psi_{\text{zт}} = 0.2 \cdot 20 = 4$ – толщина свариваемого проката;

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

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

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

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

Условие выполняется, возможность слоистого разрушения исключена.

– расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах:

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

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

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

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

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

$$N_{c,\text{сж}} = \frac{M}{h} - \frac{N}{2} = \frac{1.364 \cdot 100}{19.4} - \frac{71.19}{2} = -28.56\ \text{т/см}^2$$

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

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

1.6. Узел №6

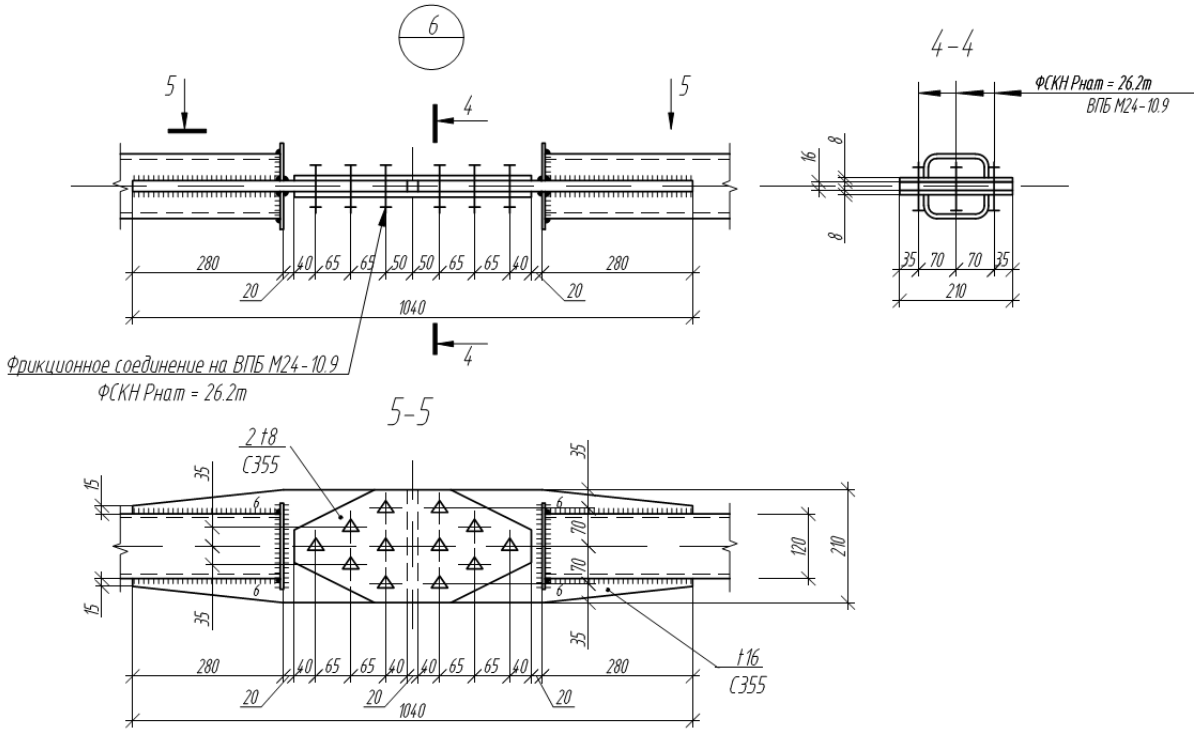


Рис. 1.6.1 Узел 6 фермы ФС-24/10-1,95.

Исходные данные:

Нижний пояс (НП):

- сечение – ГСП 120х7;
- сталь С355;
- R_y = 350 Н/мм² = 3.568 т/см² при толщине проката от 2 до 16мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Ребро:

- t=16 мм, 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.

Накладки:

- t=8 мм, сталь С355;
- R_y = 350 Н/мм² = 3.568 т/см² при толщине проката от 2 до 16 мм по табл. В.3 СП16.13330.2017.

Болты:

- ВПБ 40Х М24 по ГОСТ Р 52643-2006;
- усилие натяжения высокопрочного болта –

$P_b = R_{bt} \cdot A_{bn} = 7.425 \cdot 3.53 = 26.21$ т (п.14.3.6 СП 16.13330.2017).

- $A_{bh} = 3.53$ см² – площадь сечения болта нетто (Г.9 СП 16.13330.2017);

- $R_{bt} = 7.425$ т/см^2 – (Г.8 СП 16.13330.2017);

Усилия:

- усилия в поясе: N = 83.9 т, M = 0.115 тм, Q = 0 т.

Расчет фрикционного соединения

– расчет сварных швов крепления рёбер к поясу:

γ_c =1,00 – коэффициент условий работы;

l_w(факт) = 280x4=1120 мм – фактическая длина шва;

R_{wun} = 490 МПа –нормативное сопротивление металла сварных швов;

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

β_f = 0,7;

β_z = 1,0;

k_f = 9 мм – катет углового шва;

γ_{wm} = 1,25 – коэффициент надежности по металлу шва;

Согласно СП 16.13330.2017:

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

при $\beta_f R_{wf}$ / β R_{wz} <= 1 по металлу шва N / $\beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_c$<= 1 (176)

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

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

R_{wf} = 0,55 R_{wun}/γ_{wm}=0,55*490/125=215,6 МПа

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

Проверяем выполнение условия по металлу шва:

823 / (1,0*9*1120*215,6*1,0) = 0,54 < 1

Проверяем выполнение условия по металлу границы сплавления:

823 / (1,0*9*1120*212*1,0) = 0,39 < 1

Вывод:

β_f R_{wf} / β_z R_{wz} = (0,7*216) / (1,0*211,5) = 0,71

Решающей была проверка по металлу шва.

Процент загруженности сварного соединения: 54%

– расчет фрикционного соединения на высокопрочных болтах:

Проверка по п. 14.3.3 СП 16.13330.2011:

$$Q_{bh} = R_{bt}\ A_{bn}\ \mu\ /\ \gamma_h$$
$$n = N\ /\ Q_{bh}\ k\ \gamma_b\ \gamma_c$$

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

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

n – количество болтов;

k – кол-во поверхностей трения;

γ_h = 1.12 по табл. 42 СП 16.13330.2011;

γ_b = 0.9 по СП 16.13330.2011 для кол-ва болтов от 5 до 10;

γ_c = 1.0;

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

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

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

n = 83,9/ 9,83*2*0,9*1,0 = 4,74 < 6

Условие выполняется, следовательно, прочность фрикционного соединения обеспечена.

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.

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.