

Дисциплина: «Строительные конструкции»
Часть II: «Металлические конструкции, включая сварку»

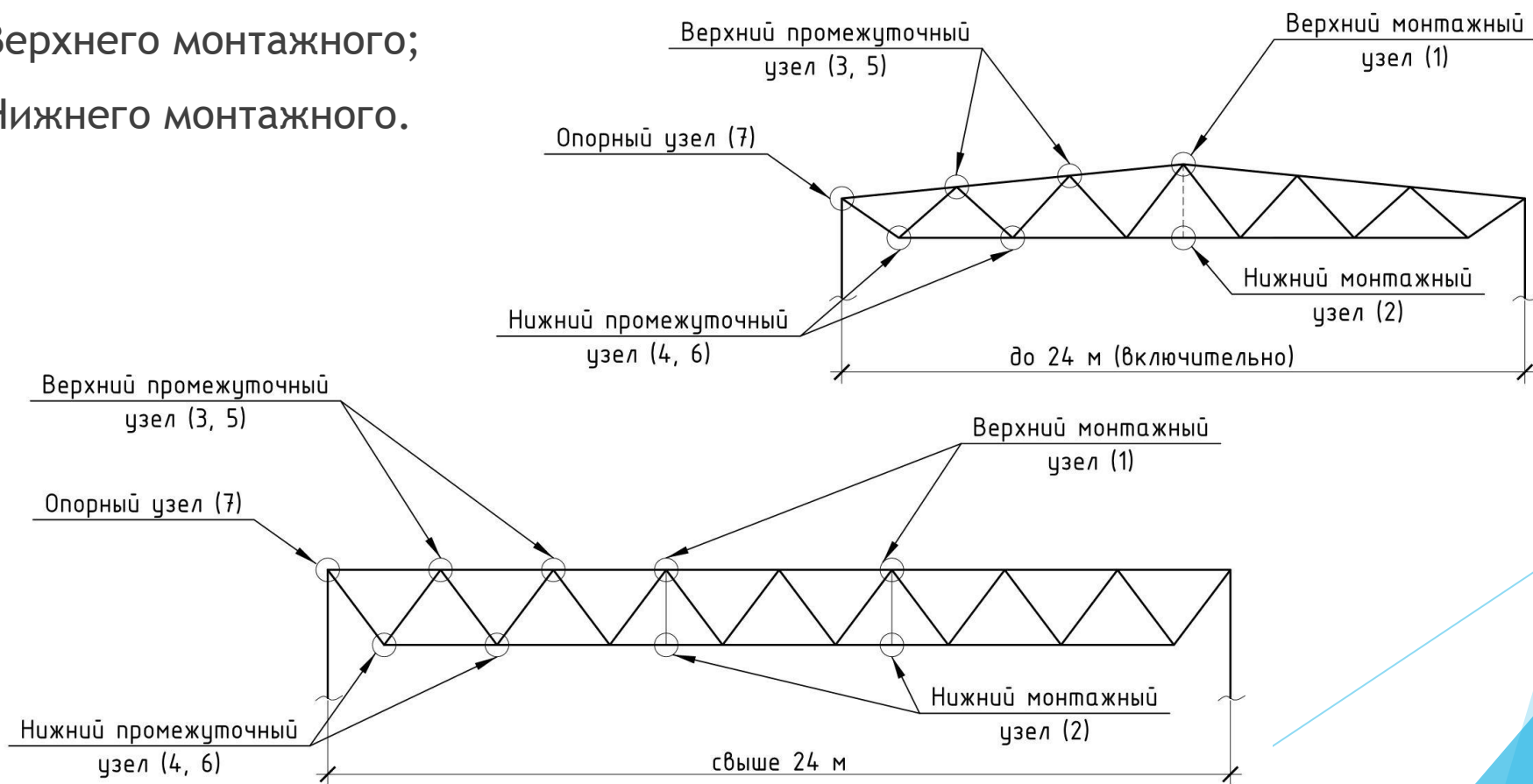
**Практика 6. Расчет и конструирование опорного
и монтажных узлов фермы**

Расчет и конструирование узлов фермы

В рамках курсового проектирования выполняется расчет узлов:

- ▶ Опорного;
- ▶ Верхнего промежуточного (2 шт.);
- ▶ Нижнего промежуточного (2 шт.);
- ▶ Верхнего монтажного;
- ▶ Нижнего монтажного.

Узлы, подлежащие расчету

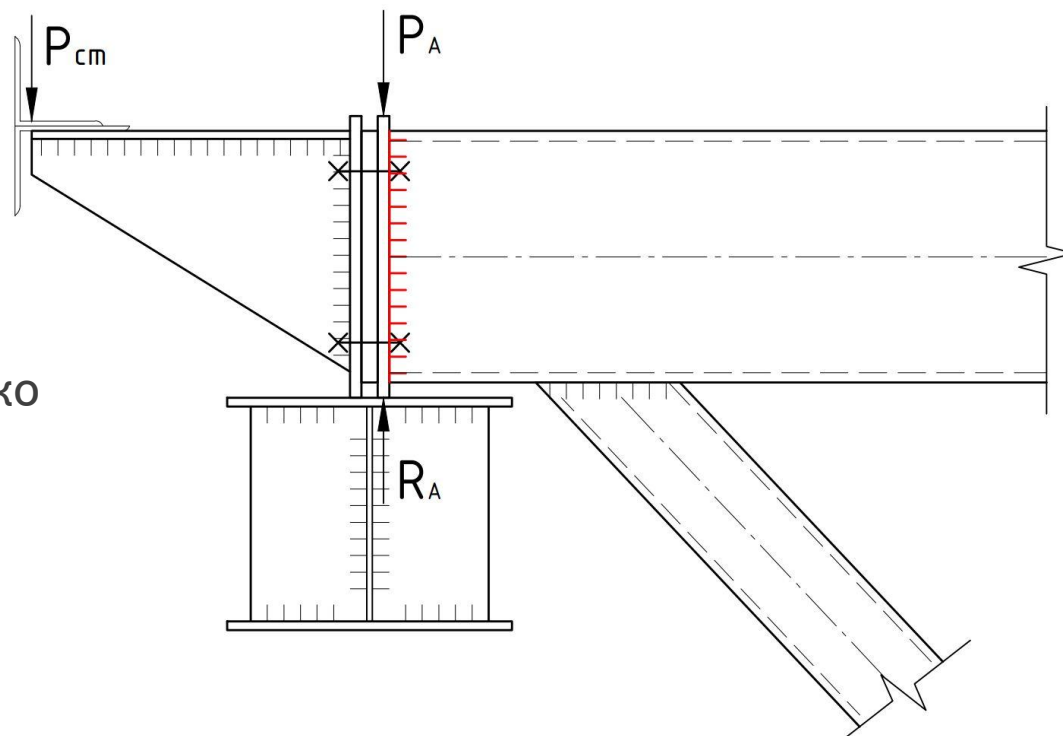


Расчет опорного узла фермы

В рамках курсового проектирования рассматривается такой вариант решения опорного узла фермы, когда к фланцу через консоль приложена нагрузка от веса стеновых панелей.

Для данного варианта характерно примыкание к узлу короткой консоли, к которой подвешиваются стеновые панели. Создаваемый таким способом сосредоточенный момент несколько разгружает пояса фермы.

Дополнительно к обычному расчету узла добавляют расчет болтового соединения консоли.



Расчет опорного узла фермы

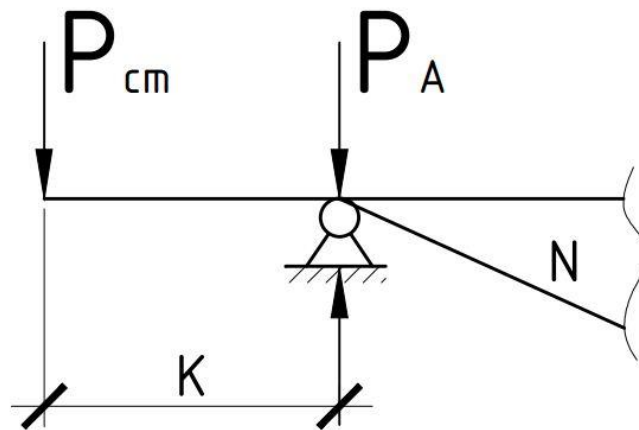
- Переход от действующих сил к рабочей схеме шва:

$$R_A = P_A + P_{cm}$$

$$M_x = P_{cm} \cdot K$$

K - расстояние от точки приложения нагрузки от стеновых панелей до торца балки фермы;

P_A - определяется по продольной силе на верхней части колонны.



Сила, действующая от веса стеновых панелей:

- Для фермы с параллельными поясами

$$P_{cm} = 2 \cdot h_{\Pi} \cdot B \cdot g$$

- Для полигональной фермы

$$P_{cm} = 1 \cdot h_{\Pi} \cdot B \cdot g$$

Где $h_{\Pi} = 1,2$ м - высота стеновой сэндвич-панели;

B - ширина стеновой сэндвич-панели;

g - вес стеновой сэндвич-панели.

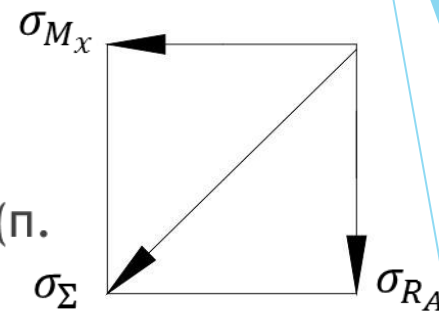
Расчет опорного узла фермы

- Используя принцип суперпозиции, находим напряжения в верхних и нижних волокнах сварного шва от действия R'_A и M_x отдельно:

$$\sigma_{R_A} = \frac{R'_A}{A_{wf}}$$

$$\sigma_{M_x} = \frac{M_x}{W_x}$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{R_A}^2 + \sigma_{M_x}^2}$$



Условие прочности сварного шва при разрушении по металлу шва (п. 14.1.16. СП 16.13330.2017):

$$\sigma_{\Sigma} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$$

R_{wf} - расчетное сопротивление шва срезу по металлу шва (таблица Г.2. СП 16.13330.2017);

γ_c - коэффициент условий работы.

В случае разрушения шва по основному металлу границы сплавления все расчеты производят аналогично.

Сталь $\delta = 4 \cdot 10 \text{ мм}$						
C255	39 (3900)	25 (2500)	17,5 (1750)	18,5 (1850)	1,05	0,9
C345	50 (5000)	35 (3500)	22,5 (2250)	22 (2200)	1,05	0,9

Расчет опорного узла фермы

Площадь сварного шва:

$$A_{wf} = l_w \cdot \delta_f, \quad \text{где}$$

l_w - длина сварного шва;

$$\delta_f = \beta_f \cdot K_f$$

$$K_f = 1,2 \cdot t_{min}$$

K_f - катет сварного шва (должен быть не меньше указанного в табл. 38 СП 16.13330.2017);

β_f, β_z - коэффициенты для расчета углового шва соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления, принимаемые по табл. 39 СП 16.13330.2017;

t_{min} - наименьшая из толщин свариваемых элементов;

δ_f - толщина фланца.

Вычисляем момент инерции для сварного шва:

$$I_x = 2 \cdot \left[\frac{\delta_f \cdot h_B^3}{12} + \delta_f \cdot D \cdot \left(\frac{h_B}{2} \right)^2 \right]$$

h_B - высота сечения верхнего пояса;

D - ширина сечения верхнего пояса.

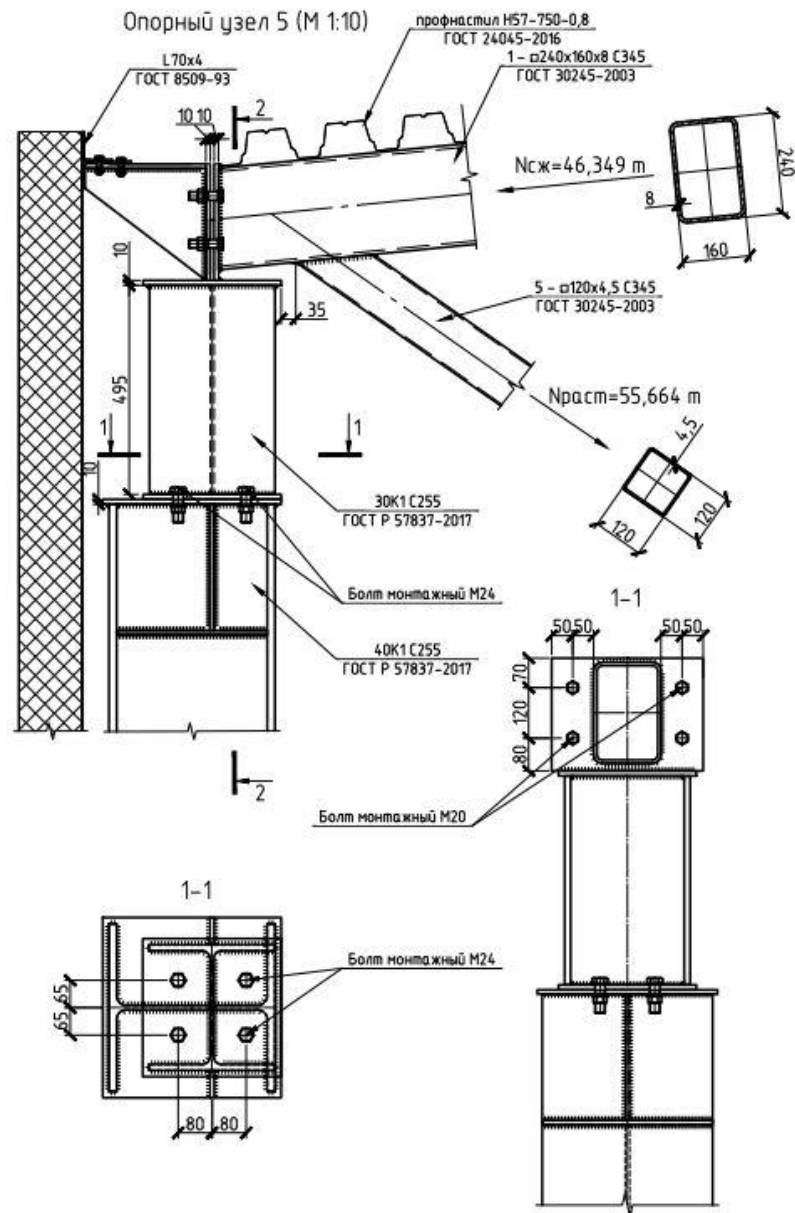
Момент сопротивления сварного поля:

$$W_x = \frac{I_x}{0,5 \cdot h_B}$$

Таблица 39

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки сплошного сечения d , мм	Положение шва	Кэф- фициент	Значение коэффициентов β_f и β_z при нормальных режимах сварки и катетах швов, мм			
			3-8	9-12	14-16	св. 16
Автоматическая и механизированная при $d = 1,4 - 2$	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		

Расчет опорного узла фермы



Пример оформления
чертежа опорного узла

Расчет верхнего монтажного узла

➤ Проверка прочности сварного шва

Узел проектируется во фланцевом исполнении и работает на сжатие. Плоскости фланца строгаются, а торец верхнего пояса выполняется косым резом (фрезерованием) для обеспечения плотного контакта по всей поверхности пояс-фланец.

Для фермы с параллельными поясами:

$$Q = N_{\text{раск}} \cdot \sin \alpha \quad T = N_{\text{раск}} \cdot \cos \alpha + N_{\text{ВП}}$$

Для полигональной фермы:

$$Q = N_{\text{раск}} \cdot \sin \alpha + N_{\text{ВП}} \cdot \sin \alpha_1 \quad T = N_{\text{раск}} \cdot \cos \alpha + N_{\text{ВП}} \cdot \cos \alpha_1$$

T – продольная сила;

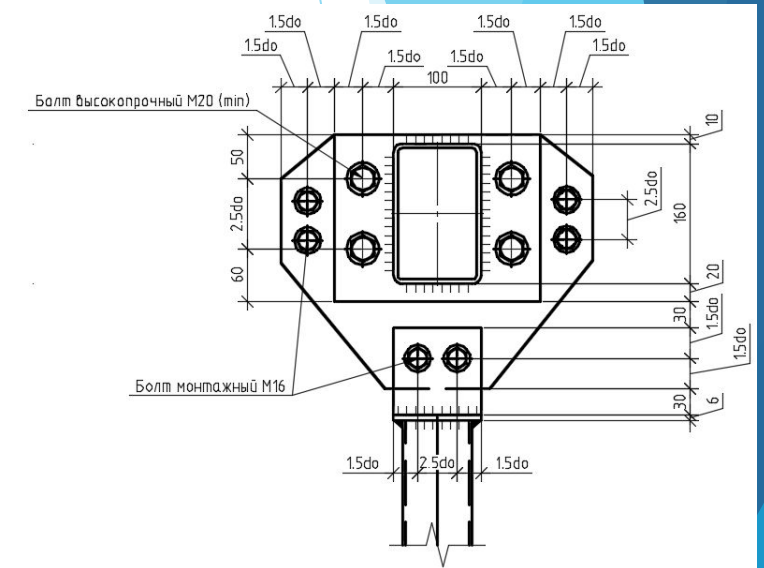
Q – перерезывающая сила;

α – угол между осью раскоса и осью верхнего пояса фермы;

α_1 – угол между продольной силой и осью верхнего пояса фермы

Принимая катет шва и длину сварного шва по аналогии с опорным узлом, определяют напряжение в шве отдельно от T и Q .

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{Q}{A_{wf}} \quad \sigma_N = \frac{T}{A_{wf}}$$



d_o – диаметр отверстия

Расчет верхнего монтажного узла

Тогда, условие прочности сварного шва записывается:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{ср}^2 + \sigma_N^2} \leq R_{fw} \cdot \gamma_{fw} \cdot \gamma_c$$

Замечание: при плотном касании торца пояса и фланца сварной шов принимается конструктивно.

► Расчет монтажной стойки

Стойка является ненагруженной.

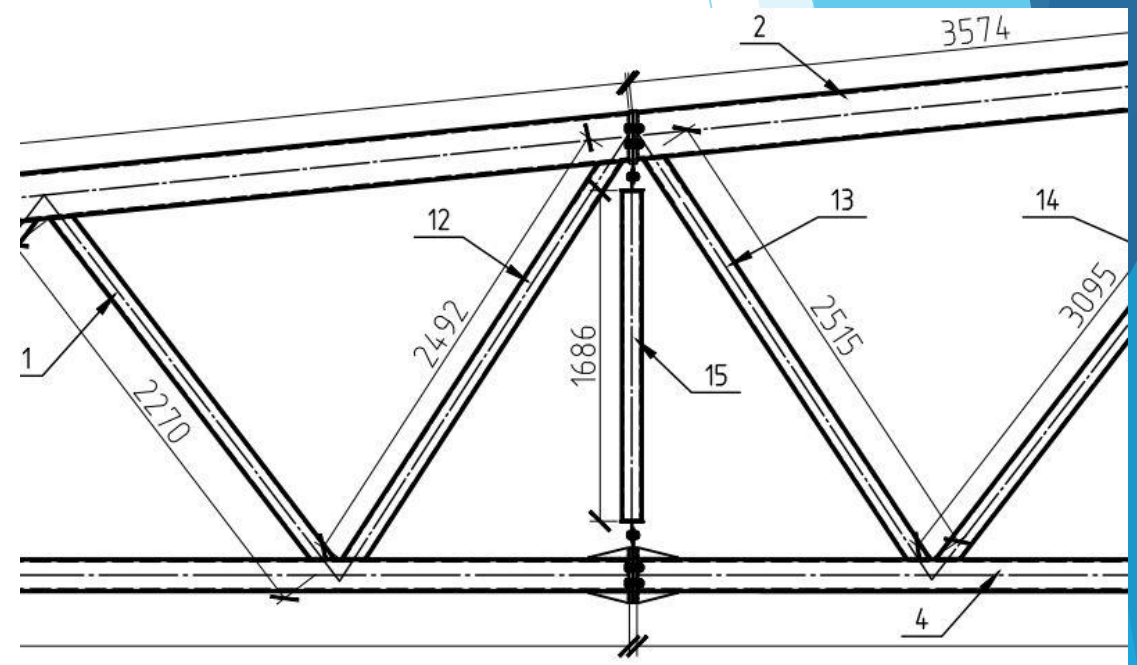
Сечение монтажной стойки определяется по условию предельной гибкости:

$$\lambda_{пред} = 200$$

Находим минимальный радиус инерции сечения:

$$r = \frac{l_{стойки}}{\lambda_{пред}}$$

Далее по полученному радиусу и сортаменту подбираем сечение квадратной монтажной стойки.



Конструкция монтажной стойки

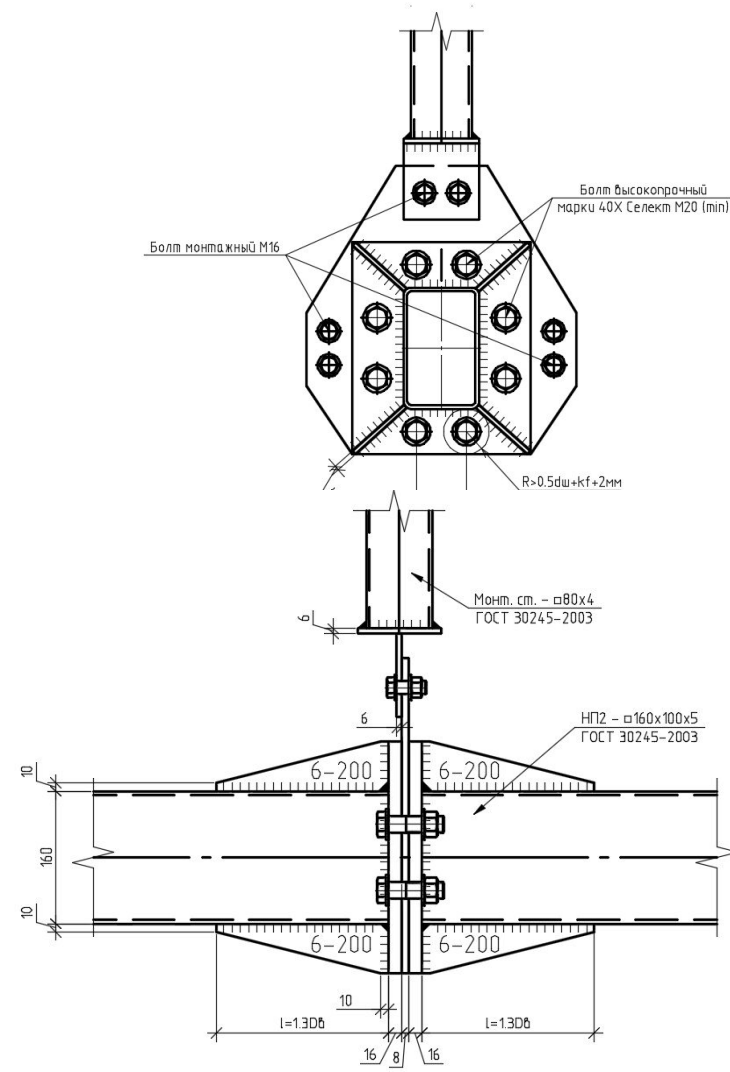
Расчет нижнего монтажного узла

Основные данные, необходимые для компоновки и расчета фланцевого соединения с применением болтов 40X «Селект» приведены в следующей таблице:

1		Диаметр болта, мм	20	24	27
2		Диаметр отверстия, мм	23	2,8	30
3		Диаметр шайбы, мм	37	44	50
4			2,45	3,52	4,59
5		Рекомендуемая толщина фланца, мм	20	25	30; 40

Завершается компоновка монтажного узла размещением рёбер жёсткости по углам трубы (длина каждого ребра вдоль трубы пояса $l \geq 1,3 \cdot D_B$) и расчетом сварных швов.

$d_{o \text{ высокопр}}$ - смотреть таблицу выше



На рисунке показаны основные размеры, которые должны быть выдержаны:

$$b_1 \leq 3,5 \cdot d$$
$$b_1 \geq 0,5 \cdot d_{ш} + K_f + 2 \text{ мм}$$

Расчет нижнего монтажного узла

➔ Расчет и проверка болтового соединения

Прочность болтового соединения обеспечена, если выполняется условие:

$$N_{\text{нп}} \leq n_{\text{б}} \cdot N_{\text{б}}^0, \quad \text{где}$$

$N_{\text{нп}}$ - растягивающее усилие в монтажном узле;

$n_{\text{б}}$ - количество высокопрочных болтов в соединении;

$N_{\text{б}}^0 = R_{bh}^0 \cdot A_{\text{нетто}}$ - расчетная несущая способность одного высокопрочного болта на растяжение (п.14.2.9. СП 16.13330.2017);

$R_{bh}^0 = 0,9 \cdot R_{bh} = 0,63 \cdot R_{bun}$ - расчётное сопротивление растяжению высокопрочных болтов (таблица Г.8. СП 16.13330.2017);

R_{bun} - нормативное сопротивление стали высокопрочных болтов (таблица Г.8. СП 16.13330.2017);

$A_{\text{нетто}}$ - площадь сечения стержня болта нетто (таблица Г.9. СП 16.13330.2017).

ВАЖНО: количество принятых для соединения болтов должно быть чётным!

Расчет монтажных узлов

Характеристика расстояния и предела текучести соединяемых элементов	Расстояние при размещении болтов
1 Расстояние между центрами отверстий для болтов в любом направлении:	
а) минимальное:	
при $R_{yn} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$	$2,5d$
при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$	$3d$
б) максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии	$8d$ или $12t$
в) максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:	
при растяжении	$16d$ или $24t$
при сжатии	$12d$ или $18t$
2 Расстояние от центра отверстия для болта до края элемента	
а) минимальное вдоль усилия:	
при $R_{yn} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$	$2d$
при $R_{yn} > 375 \text{ Н/мм}^2$	$2,5d$
б) то же, поперек усилия:	
при обрезных кромках	$1,5d$
при прокатных кромках	$1,2d$
в) максимальное	$4d$ или $8t$
г) минимальное во фрикционном соединении при любой кромке и любом направлении усилия	$1,3d$
3 Расстояние минимальное между центрами отверстий вдоль усилия для болтов, размещаемых в шахматном порядке	$u+1,5d$

Обозначения, принятые в таблице 40:

d - диаметр отверстия для болта;

t - толщина наиболее тонкого наружного элемента;

u - расстояние поперек усилия между рядами отверстий.

Примечания

1 Диаметр отверстий следует принимать: для болтов класса точности А - $d' = d_b$; для болтов класса точности В в конструкциях опор ВЛ, ОРУ и КС - $d' = d_b + 1 \text{ мм}$, в остальных случаях - $d' = d_b + (1; 2 \text{ или } 3 \text{ мм})$, где d_b - диаметр болта.

2 В одноболтовых соединениях элементов решетки (раскосов и распорок), кроме постоянно работающих на растяжение, при толщине элементов до 6 мм из стали с пределом текучести до 375 Н/мм² расстояние от края элемента до центра отверстия вдоль усилия принимают $1,35d$ (без допуска при изготовлении элементов в сторону уменьшения, о чем должно быть указано в проекте).

3 При размещении болтов в шахматном порядке на расстоянии, не менее указанного в позиции 3, сечение элемента A_1 следует определять с учетом ослабления его отверстиями, расположенными в одном сечении поперек усилия (не по зигзагу).

*Таблица 40 СП 16.13330.2017

Расчет нижнего монтажного узла

➔ Расчет сварного шва, прикрепляющего ребра к поясу и фланцу

Узел является одним из самых нагруженных и ответственных узлов фермы, работает на центральное растяжение силой N_{max} . Узел выполняется со сплошными фланцами и ребрами жесткости, расположенными вдоль углов профиля пояса.

Толщину бокового ребра принимают конструктивно:

$$\delta_p = 1,2 \cdot t, \quad \text{где}$$

t - толщина стенки пояса.

Катет сварного шва $K_f = 1,2 \cdot t = \delta_p$

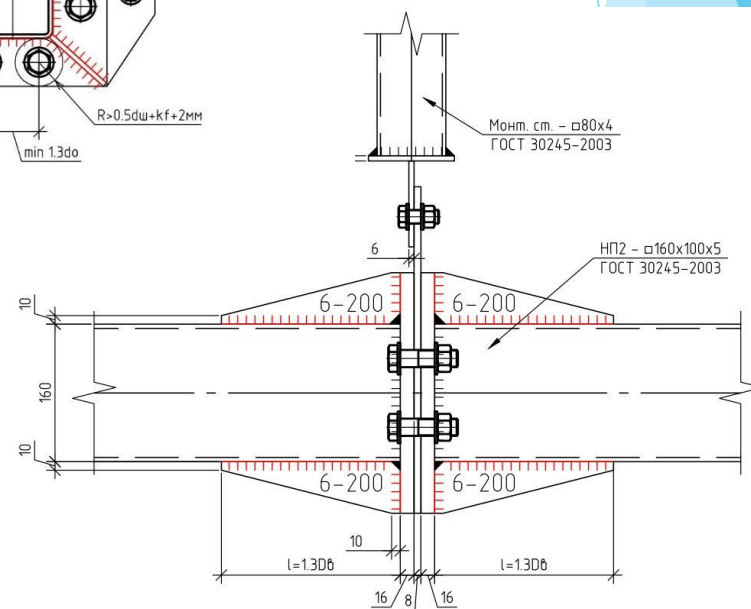
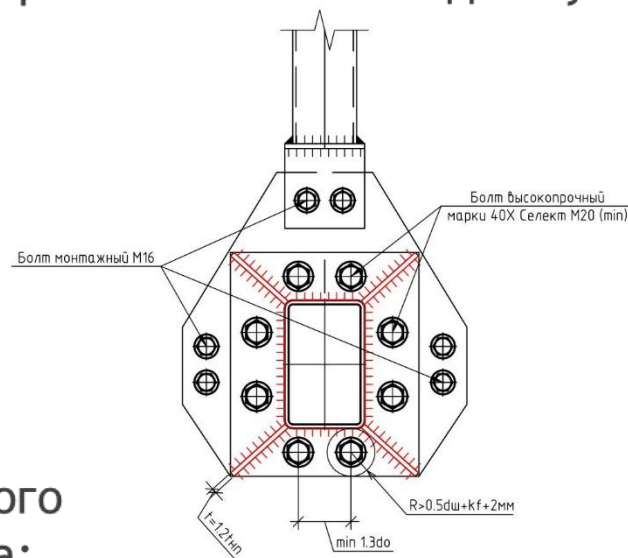
Полная длина углового шва (лобового углового шва труба-фланец) определяется из эскиза узла:

$$l_w = 4 \cdot 2 \cdot b_p - 4 \text{ см} + 2 \cdot (h_B + D) - 4 \text{ см}$$

b_p - ширина ребра;

h_B - высота сечения пояса;

D - ширина сечения пояса.



Расчет нижнего монтажного узла

- Условие прочности соединения в форме записи несущей способности по металлу шва:

$$N_{max} \leq \beta_f \cdot K_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c$$

В связи с большой ответственностью узла следует также производить проверку по основному металлу границы сплавления:

$$N_{max} \leq \beta_z \cdot K_f \cdot l_w \cdot R_y \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c$$

По этой же причине следует произвести проверку на вырыв металла в околошовной зоне:

$$N_{max} \leq 1,4 \cdot \beta_f \cdot K_f \cdot l_w \cdot R_{th} \cdot \gamma_c$$

R_{th} - расчетное сопротивление толстолистовой стали фланца поперек проката (например, для стали С345Т $R_{th} = 0,5 \cdot R_{un} / \gamma_m = 22,5 \text{ кН/см}^2$);

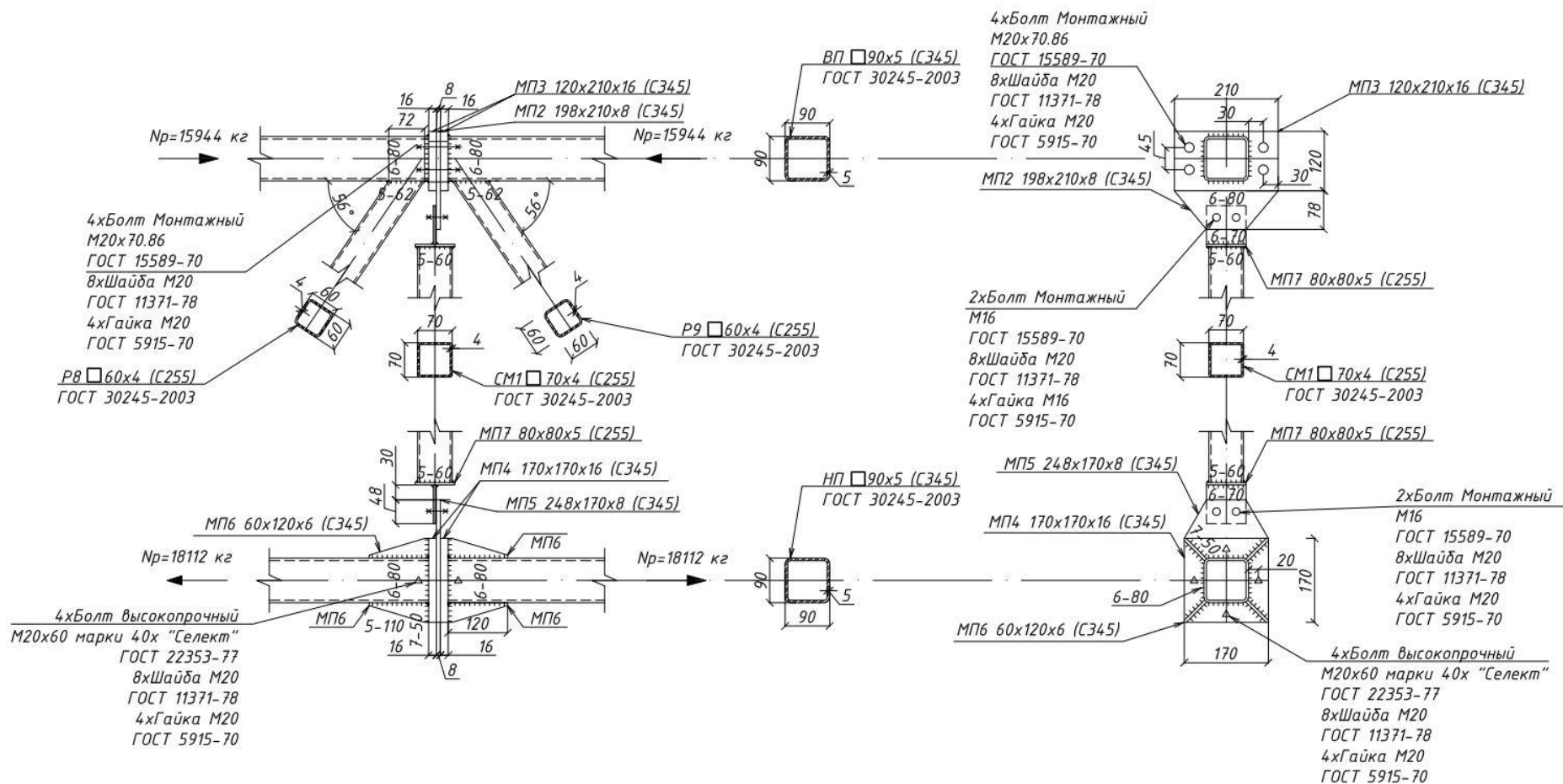
$\gamma_m = 1,025$ - коэффициент надежности по металлу (табл. 3 СП 16.13330.2017);

l_w - расчетная длина сварного шва;

β_f, β_z - коэффициенты для расчета углового шва соответственно по металлу шва и по металлу границы сплавления, принимаемые по табл. 39 СП 16.13330.2017.

Расчет монтажных узлов

Монтажный узел
М 1:10



Пример выполнения чертежа монтажных узлов

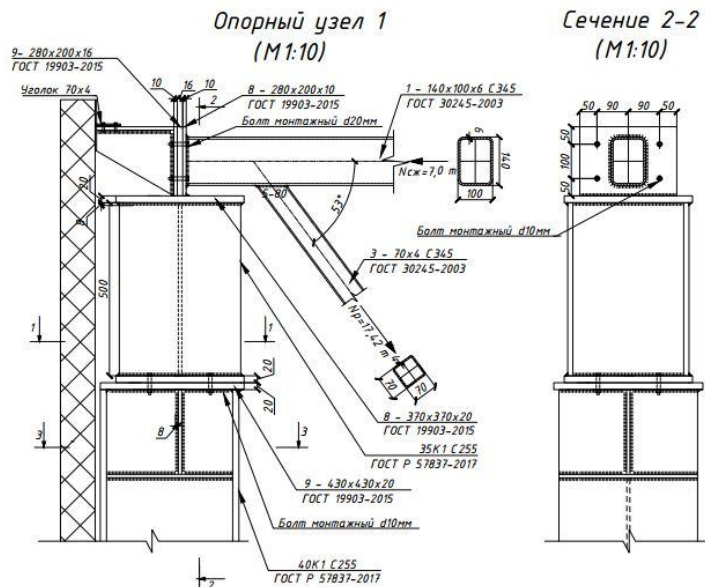
Итоговая компоновка чертежа

- ▶ Масштаб;
- ▶ Составление спецификации;
- ▶ Расположение узлов в проекционной зависимости;
- ▶ Шрифт и линии в соответствии с требованиями.

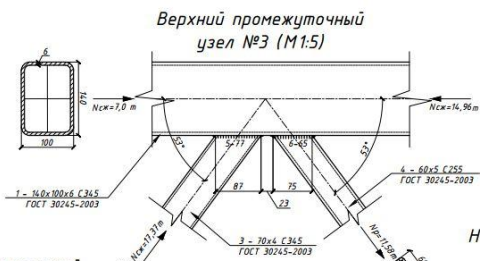
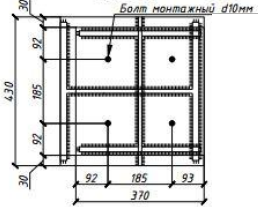
Состав чертежа

- ▶ Конструктивная схема (1:200, 1:400);
- ▶ Узлы: промежуточные, монтажные, опорный (1:5, 1:10);
- ▶ Отправочная марка фермы (1:40, 1:50);
- ▶ Геометрическая схема фермы (1:200);
- ▶ Спецификация металлопроката.

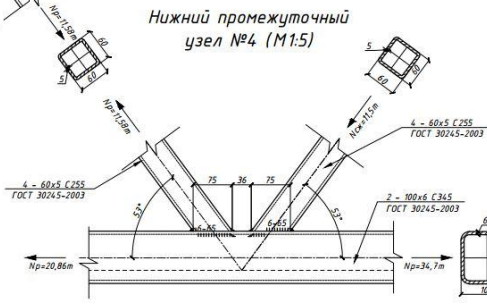
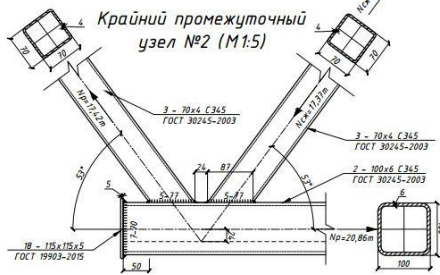
Итоговая компоновка чертежа



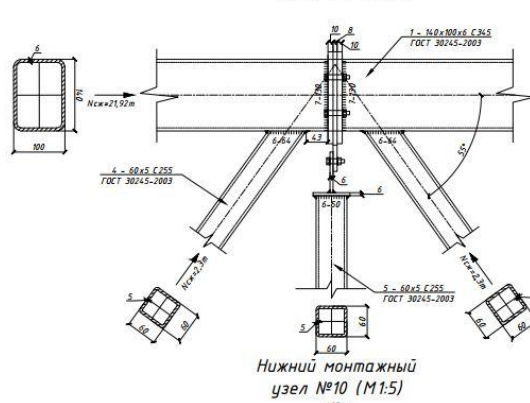
Сечения 1-1, 3-3
(М1:5)



Нижний промежуточный
узел №4 (М1:5)

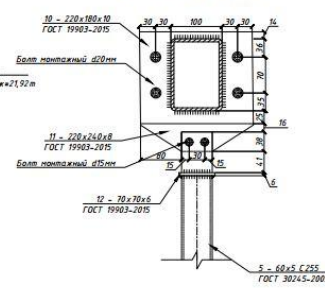


Верхний монтажный
узел №9 (М1:5)

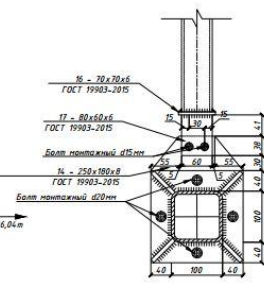
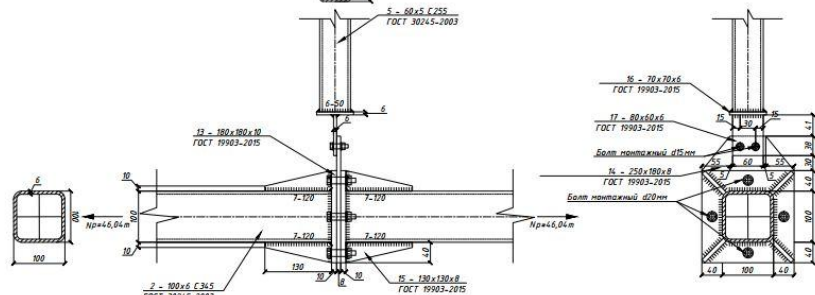


Нижний монтажный
узел №10 (М1:5)

Верхний
монтажный узел,
вид сбоку (М1:5)



Нижний
монтажный узел,
вид сбоку (М1:5)



[illegible]