



Министерство образования и науки Российской Федерации  
**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»**  
129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, тел./факс. (495) 781-80-07

Кафедра: «Конструкции из дерева и пластмасс»

## **КУРСОВАЯ РАБОТА**

по теме:

**«Расчет и конструирование ограждающих и несущих  
дощатоклееных конструкций одноэтажного производственного  
здания»**

Выполнил:

Принял:

МОСКВА, 2016

## Оглавление

1.	Исходные данные.....	2
2.	Расчёт клеефанерной плиты покрытия.....	3
3.	Расчет рамы.....	9
4.	Проверка устойчивости плоской формы деформирования рамы.....	17
5.	Расчет конькового узла.....	23
6.	Расчет опорного узла.....	26
7.	Список литературы.....	29
8.	Приложение 1. Графическая часть.....	30

Согласовано												
Взам. инв. №												
Подп. и дата												
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка						
Инв. № подл.							Кафедра			Стадия	Лист	Листов
							«Конструкции из дерева и пластмасс»			У	1	

### Исходные данные:

Пролет рамы  $L=15$  м.

Шаг рам  $B=6$  м.

Высота рамы в карнизном узле  $H_{карн}=4$  м.

Угол уклона кровли: 14 градусов.

Снеговой район III.

Вес утеплителя: 0,3 кН/куб.м.

Температурно-влажностные условия эксплуатации  $t-W\%$  1.

II класс ответственности здания.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									2
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

## Расчёт клеёфанерной плиты покрытия.

### 1. Исходные данные для расчета панели:

- 1) Размеры в плане:  $1,48 \times 5,98$
- 2) III снеговой район
- 3) Каркас ребер – сосна II сорт
- 4) Обшивки – водостойкая фанера  
ФСФ В/ВВ  $t_{\phi} = 8$  мм
- 5) Утеплитель – минераловатные плиты  
PAROC 37  $120 \times 600 \times 1200$  мм;  $\gamma_{ут} = 0,3 \text{ кН/м}^3$
- 6) Пароизоляция Ютафол Н 110 ( $110 \text{ г/м}^2$ )
- 7) Кровельный материал – мягкая черепица КАТЕРАЛ ( $8 \text{ кг/м}^2$ ).

### 2. Компоновка рабочего сечения плиты.

Ширина плиты:

$$b_{п} = 1480 \text{ мм.}$$

Толщина фанерных обшивок:

$$t_{\phi} = 8 \text{ мм}$$

Продольные ребра – по сортаменту принимаем доски  $50 \times 200$  мм, после четырехстороннего фрезерования габариты досок составят  $42 \times 192$  мм.

Расчётный пролёт панели:

$$l_p = 0,99 \cdot l = 0,99 \cdot 5980 = 5920 \text{ мм}$$

Высота панели:

$$h_{п} = h_p + 2 \times t_{\phi} = 192 + 2 \cdot 8 = 208 \text{ мм.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									3
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

3. Проверка верхней фанерной обшивки на местный изгиб.

Расстояние между рёбрами в осях:

$$C = \frac{1480 - 2 \cdot 42}{3} = 465 \text{ мм}$$

Расстояние между рёбрами по внутренним кромкам:

$$C_0 = C - b_p = 465 - 42 = 423 \text{ мм}$$

Изгибающий момент в обшивке:

$$M = \frac{P \times C}{8} = \frac{1,2 \cdot 0,465}{8} = 0,07 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления обшивки шириной 1000 мм:

$$W = \frac{b_{\text{п}} \times t_{\text{ф}}}{6} = \frac{1000 \times 8^2}{6} = 0,011 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

Напряжение от изгиба сосредоточенной силой  $P=1,2 \times 1 \text{ кН}$ :

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,07 \times 10^6}{0,011 \times 10^6} = 0,65 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 6,4 \text{ МПа} < R_{\text{и}}^{\text{ф}} = 6,5 \times 1,2 = 7,8 \text{ МПа.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									4
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

#### 4. Сбор нагрузок на панель

Таблица 1.

№	Наименование нагрузки	Норм. нагрузка кН/м <sup>2</sup>	Коэф-т надежности	Расч. нагрузка кН/м <sup>2</sup>
1.	Кровельная плитка КАТЕРАЛ	0,08	1,05	0,084
2.	Фанерные обшивки	$2 \times 0,008 \times 7 = 0,112$	1,1	0,123
3.	Продольные ребра каркаса $\frac{b_{p1} h_{p1} n_{p1} \gamma_d}{b_{п}}$	$\frac{0,042 \times 0,192 \times 5 \times 5}{1,48} = 0,14$	1,1	0,15
4.	Поперечные ребра каркаса $\frac{b_{p2} h_{p2} n_{p2} \gamma_d}{l_{п}}$	$\frac{0,042 \times 0,144 \times 5 \times 5}{5,98} = 0,03$	1,1	0,033
5.	Утеплитель $\gamma_y$ =3 кг/м <sup>3</sup> $\frac{b_y h_y n_y \gamma_y}{b_{п}}$	$\frac{0,12 \times 0,423 \times 3 \times 0,33}{1,48} = 0,031$	1,2	0,04
6.	Пароизоляция	0,0011	1,2	0,0013
	Итого: постоянная нагрузка	0,394		0,431
7.	Временная нагрузка: снеговая	$0,7 \times 1,8 = 1,26$	1,4	1,764
	Итого: полная нагрузка:	<b>1,65</b>		<b>2,2</b>

Полная погонная нагрузка:

- нормативная-  $q^n = 1,65 \cdot 1,5 = 2,5$  кН/м;

- расчетная -  $q^p = 2,2 \cdot 1,5 = 3,3$  кН/м.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	Лист
							5

## 5. Определение геометрических характеристик сечения.

Расчётная ширина фанерной обшивки:

$$b_{\text{пр}} = 0,9 \times b_{\text{п}} = 0,9 \times 1,48 = 1,332 \text{ м}$$

Приведенный момент инерции панели:

$$\begin{aligned} J_{\text{пр}}^{\phi} &= J_{\phi} + J_{\text{др}} \times \frac{E_{\text{др}}}{E_{\phi}} = \frac{b_{\text{пр}} \times (h_{\text{п}}^3 - h_{\text{р}}^3)}{12} + \frac{n_{\text{р}} \times b_{\text{р}} \times h_{\text{р}}^3}{12} \times \frac{E_{\text{др}}}{E_{\phi}} = \\ &= \frac{1332 \times (208^3 - 192^3)}{12} + \frac{4 \times 42 \times 192^3}{12} \times \frac{10000}{9000} \\ &= 0,3 \times 10^9 \text{ м}^4 \end{aligned}$$

Приведенный момент сопротивления панели:

$$W_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{пр}}^{\phi} \times 2}{h_{\text{п}}} = \frac{0,3 \times 10^9 \times 2}{208} = 2,8 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

Приведенный статический момент верхней фанерной обшивки относительно нейтральной оси:

$$S_{\text{пр}}^{\phi} = b_{\text{пр}} \times \varphi_{\phi} \times \left( \frac{h_{\text{п}}}{2} - \frac{\varphi_{\phi}}{2} \right) = 133,2 \times 8 \times \left( \frac{208}{2} - \frac{8}{2} \right) = 1,1 \times 10^6 \text{ мм}^3.$$

## 6. Статический расчет панели.

Максимальный изгибающий момент:

$$M_{\text{max}} = \frac{q \times l_{\text{р}}^2}{8} = \frac{3,3 \times 5,92^2}{8} = 14,5 \text{ кН/м.}$$

Поперечная сила:

$$Q = \frac{q \times l_{\text{р}}}{2} = \frac{3,3 \times 5,92}{2} = 9,8 \text{ кН.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
							6
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	





$$\tau = \frac{Q \times S_{\text{пр}}^{\phi}}{J_{\text{пр}}^{\phi} \times h_{\text{расч}}} = \frac{9,8 \times 10^3 \times 1,1 \times 10^6}{0,3 \times 10^9 \times 168} = 0,21 \text{ МПа} \leq R_{\text{ск}}^{\phi} = 0,8 \text{ МПа.}$$

### 8. Расчет по II группе предельных состояний.

Расчетный прогиб панели:

$$f_0 = \frac{5}{384} \times \frac{q^H \times l_p^4}{0,7 \times E_{\text{др}} \times J_{\text{др}}^{\text{пр}}} = \frac{5}{384} \times \frac{2,5 \times 10^{12} \times 5,92^4}{0,7 \times 9 \times 10^3 \times 0,3 \times 10^9} = 21,2 \text{ мм}$$

$$f = \frac{f_0}{K} \left[ 1 + C \left( \frac{h}{l_p} \right)^2 \right] = \frac{21,2}{1} \left[ 1 + 19,2 \left( \frac{208}{5920} \right)^2 \right] = 21,7 \text{ мм} < [f] = 23,6 \text{ мм}$$

Предельный прогиб панели:

$$[f] = \frac{1}{250} L = 23,6 \text{ мм}$$

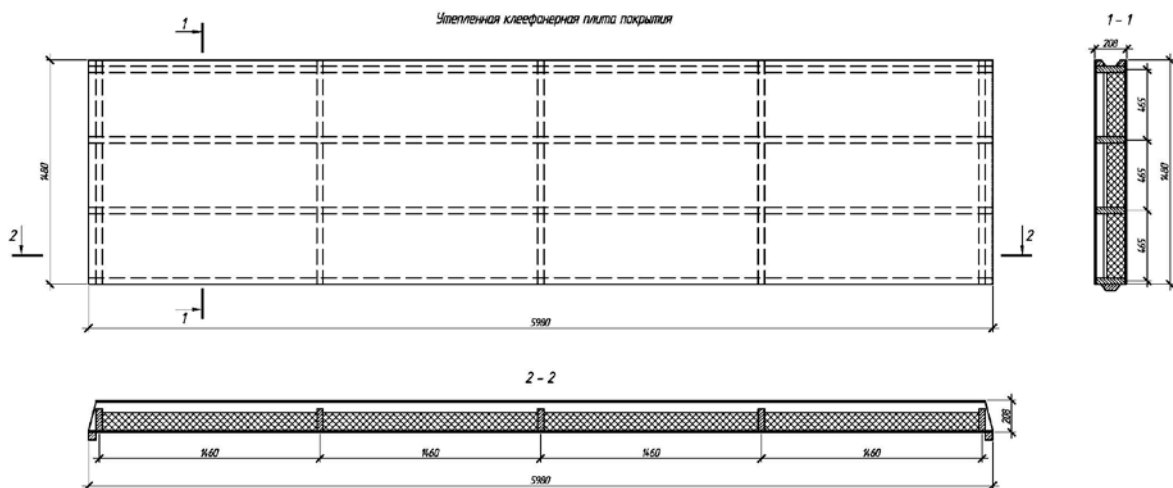


Рис.1. Клефанерная плита покрытия.

Инв. № подл.	Взам. инв. №
Изм.	Подп. и дата
Кол.уч.	
Лист	
№ док.	
Подл.	
Дата	

## Расчет гнукклееной трехшарнирной рамы рамы

### 1. Исходные данные для расчета рамы.

Расчётный пролет рамы:  $L=15$  м.

Угол наклона ригеля:  $\alpha = 14^\circ$ .

Высота карнизной части:  $H_{\text{карн}} = 4$  м.

Шаг рам:  $B = 6$  м.

III снеговой район.

II класс ответственности здания.

Температурно-влажностные условия эксплуатации:  $t-W\%$  1.

Собственный вес покрытия:  $0,394 \text{ кН/м}^2$ ;  $0,431 \text{ кН/м}^2$ .

Материал рамы – доски  $19 \times 160$  мм, сосна II сорт.

### 2. Определение геометрических размеров рамы.

Расчетный пролет рамы:  $L_p = L - 0,4 \text{ м} = 15 - 2 \times 0,2 \text{ м} = 14,6 \text{ м}$

Для угла  $\alpha = 14^\circ$ :  $\sin \alpha = 0,242$ ;  $\cos \alpha = 0,97$ ;  $\text{tg} \alpha = 0,249$

Высота рамы в коньке:

$$f = H_{\text{карн}} + \frac{1}{2} L \text{tg} \alpha = 4 + \frac{1}{2} \times 14,6 \times 0,249 = 5,8 \text{ м}$$

Радиус гнутой части рамы:  $R_{\text{гн}} = 3$  м.

Угол в карнизной гнутой части между осями ригеля и стойки:

$$\gamma = 90^\circ + \alpha = 90^\circ + 14^\circ = 104^\circ$$

Максимальный изгибающий момент будет в среднем сечении гнутой части рамы, которое является биссектрисой этого угла, тогда:

$$\beta = \frac{90^\circ + \alpha}{2} = \frac{90^\circ + 14^\circ}{2} = 52^\circ;$$

$$\sin \beta = 0,788, \quad \cos \beta = 0,616, \quad \text{tg} \beta = 1,28.$$

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

										Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата					9
Пояснительная записка										

Центральный угол гнутой части рамы в градусах и радианах:

$$\varphi = (90^\circ - \beta) \times 2 = (90^\circ - 52^\circ) \times 2 = 76^\circ;$$

$$\varphi_{\text{рад}} = \frac{\pi\varphi}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 76}{180} = 1,326.$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi}{2} = \frac{76^\circ}{2} = 38^\circ, \sin \varphi_1 = 0,616, \cos \varphi_1 = 0,788, \operatorname{tg} \varphi_1 = 0,781.$$

Длина стойки от опоры до начала гнутой части:

$$l_{\text{ст}} = H_{\text{карн}} - R_{\text{гн}} \times \operatorname{tg} \varphi_1 = 4 - 3 \times 0,781 = 1,7 \text{ м} = 1,5 \text{ м}$$

Длина гнутой части:

$$l_{\text{гн}} = R_{\text{гн}} \times \varphi_{\text{рад}} = 3 \times 1,326 = 3,9 \text{ м}$$

Длина ригельной части рамы:

$$l_{\text{риг}} = \frac{\left(\frac{1}{2}L - R_{\text{гн}} + R_{\text{гн}} \sin \alpha\right)}{\cos \alpha} = \frac{\frac{14,6}{2} - 3 + 3 \cdot 0,242}{0,97} = 5,2 \text{ м}$$

Длина полурамы:

$$l_{\text{пр}} = l_{\text{ст}} + l_{\text{гн}} + l_{\text{риг}} = 1,7 + 3,9 + 5,2 = 10,8 \text{ м}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									10
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			



#### 4. Статический расчет рамы.

Опорные реакции:

- вертикальные:

$$A = B = \frac{q \times l}{2} = \frac{14,22 \cdot 14,6}{2} = 103,81 \text{ кН};$$

горизонтальные:

$$H = \frac{q \times l^2}{8 \times f} = \frac{14,22 \cdot 14,6^2}{8 \cdot 5,8} = 65,33 \text{ кН}.$$

Максимальный изгибающий момент в раме возникает в центральном сечении гнутой части. Координаты  $x$ ,  $y$  точки с максимальным изгибающим моментом:

$$x = R_{\text{ГН}} \times (1 - \cos \varphi_1) = 3 \times (1 - 0,788) = 0,64 \text{ м}$$

$$y = l_{\text{СТ}} + R_{\text{ГН}} \times \sin \varphi_1 = 1,7 + 3 \times 0,616 = 3,55 \text{ м}$$

Изгибающий момент  $M$  и продольная сжимающая сила  $N$  в данной точке:

$$M = A \times x - \frac{q \times x^2}{2} - H \times y = 103,81 \times 0,64 - \frac{14,22 \times 0,64^2}{2} - 65,33 \times 3,55$$
$$= 66,4 - 2,9 - 231,9 = -168,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$N = (A - q \times x) \times \sin \beta + H \times \cos \beta =$$
$$= (103,81 - 14,22 \times 0,64) \times 0,788 + 65,31 \times 0,616$$
$$= 74,6 + 40,2 = 114,8 \text{ кН}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									12
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

### 5. Подбор сечения криволинейного участка рамы

Ширина досок  $b=160$  мм; толщина досок  $\delta = 19$  мм

Расчетное сопротивление сжатию и изгибу для сосны II сорта:

$$R_c = \frac{15 \times m_b}{\gamma_n} = \frac{15 \times 1}{0,95} = 15,8 \text{ МПа}$$

Требуемую высоту сечения  $h_{тр}$  можно определить приближенно по величине изгибающего момента:

$$h_{тр} = \sqrt{\frac{6M}{0,6bR_c}} = \sqrt{\frac{6 \times 168,4 \times 10^6}{0,6 \times 160 \times 15,8}} = 816 \text{ мм}$$

Требуемое количество слоев:

$$n_{тр} = \frac{h_{тр}}{t_{сл}} = \frac{816}{19} = 42 \text{ слоя, принимаем 50 слоев по 19 мм:}$$

$$h_{ГН} = 50 \times 19 = 950 \text{ мм}$$

Геометрические характеристики принятого сечения:

$$F_{расч} = b \times h_{ГН} = 160 \times 950 = 152 \cdot 10^3 \text{ мм}^2;$$

$$W_{расч} = \frac{b \times h_{ГН}^2}{6} = \frac{160 \times 950^2}{6} = 24,1 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

$$J_{расч} = \frac{b \times h_{ГН}^3}{12} = \frac{160 \times 950^3}{12} = 11,4 \cdot 10^9 \text{ мм}^4.$$

Высота рамы в опорном сечении:  $h_{оп} > 0,4h_{ГН}$  :

$$0,4h_{ГН} = 0,4 \times 950 = 380 \text{ мм ;}$$

$$\frac{380}{19} = 20; h_{оп} = 22 \text{ слоя} \times 19 \text{ мм} = 418 \text{ мм ;}$$

Высота рамы в коньковом сечении:  $h_k > 0,3h_{ГН}$  :

$$0,3h_{ГН} = 0,3 \times 950 = 285 \text{ мм ;}$$

$$\frac{285}{19} = 15; h_k = 17 \text{ слоев} \times 19 \text{ мм} = 323 \text{ мм} .$$

**Окончательно принимаем:**

$$b \times h_{оп} = 160 \times 418 \text{ мм;}$$

$$b \times h_{ГН} = 160 \times 950 \text{ мм;}$$

$$b \times h_k = 160 \times 323 \text{ мм.}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	

### 6. Проверка биссектрисного сечения рамы.

Коэффициенты условий работы к расчетным сопротивлениям

$$m_B = 1;$$

$$m_6 = 0,86;$$

$$m_{сл} = 1,1;$$

При значении отношения  $\frac{R_{ГН}}{t_{сл}} = \frac{3000}{19} = 157,9 :$

$$m_{ГН} = 0,82 \text{ (для } R_c \text{ и } R_{и}) ;$$

$$m_{ГН} = 0,62 \text{ (для } R_p) .$$

Расчетное сопротивление древесины сосны 2 сорта *сжатию и изгибу*:

$$R_c = 15 \text{ МПа} \times m_B \times m_6 \times m_{сл} \times m_{ГН} / 0,95 = 15 \times 1 \times 0,86 \times 1,1 \cdot 0,82 / 0,95 = 12,2 \text{ МПа}$$

Расчетное сопротивление древесины сосны 2 сорта *растяжению*:

$$R_p = 9 \text{ МПа} \times m_B \times \frac{m_{ГН}}{\gamma_H} = 9 \times 1 \times \frac{0,62}{0,95} = 5,9 \text{ МПа}.$$

Для элементов переменного по высоте сечения коэффициент  $\varphi$  следует

умножить на коэффициент  $K_{ЖН}$ :

$$K_{ЖН} = 0,66 + 0,34\beta = 0,66 + \frac{h_{оп}}{h_{ГН}} = 0,66 + 0,34 \times \frac{418}{950} = 0,81$$

$$\lambda = \frac{l_{пр}}{i} = \frac{l_{пр}}{0,289 \times h_{ГН}} = \frac{10800}{0,289 \times 950} = 39,3$$

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{39,3^2} = 1,9$$

$$\varphi \times K_{ЖН} = 1,9 \times 0,81 = 1,5, \text{ т. к. } \varphi \times K_{ЖН} > 1, \text{ принимаем } \varphi \times K_{ЖН} = 1$$

Коэффициент  $\xi$ :

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \times R_c \times F_{расч}} = 1 - \frac{65,33 \times 10^3}{1 \times 152 \times 10^3 \times 12,2} = 0,965$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									14
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

Изгибающий момент по деформированной схеме:

$$M_D = \frac{M}{\xi} = \frac{168,4}{0,965} = 174,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Для криволинейного участка при отношении  $\frac{h_{ГН}}{r} = \frac{950}{3000} = 0,32$

прочность следует проверять для наружной и внутренней кромки с введением коэффициентов  $k_{ГВ}$  и  $k_{ГН}$  к  $W_{расч}$ :

$$K_{ВН}^R = \frac{1 - 0,5 \times h/R_{ГН}}{1 - 0,17 \times h/R_{ГН}} = \frac{1 - 0,5 \times 0,32}{1 - 0,17 \times 0,32} = \frac{0,84}{0,95} = 0,88$$

$$K_{Нар}^R = \frac{1 + 0,5 \times h/R_{ГН}}{1 + 0,17 \times h/R_{ГН}} = \frac{1 + 0,5 \times 0,32}{1 + 0,17 \times 0,32} = 1,1$$

Расчётный момент сопротивления с учётом влияния кривизны:

$$W_B = W_{расч} \times K_{ВН}^R = 24,1 \times 10^6 \times 0,88 = 21,21 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

$$W_H = W_{расч} \times K_{Нар}^R = 24,1 \times 10^6 \times 1,1 = 26,51 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

Напряжение по сжатой внутренней кромке:

$$\sigma_c = \frac{N}{F} + \frac{M_D}{W_B} \leq R_c$$

$$\sigma_c = \frac{114,8 \times 10^3}{152 \times 10^3} + \frac{174,5 \times 10^3}{21,21 \times 10^3} = 0,76 + 8,2 = 8,96 \text{ МПа} < R_c = 12,2 \text{ МПа}$$

Напряжение по растянутой наружной кромке:

$$\sigma_p = -\frac{N}{F} + \frac{M_D}{W_H} \leq R_p$$

$$\sigma_c = -\frac{114,8 \times 10^3}{152 \times 10^3} + \frac{174,5 \times 10^3}{26,51 \times 10^3} = 5,8 \text{ МПа} > R_p = 5,9 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Взам. инв. №	Подп. и дата							Лист
									15
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			



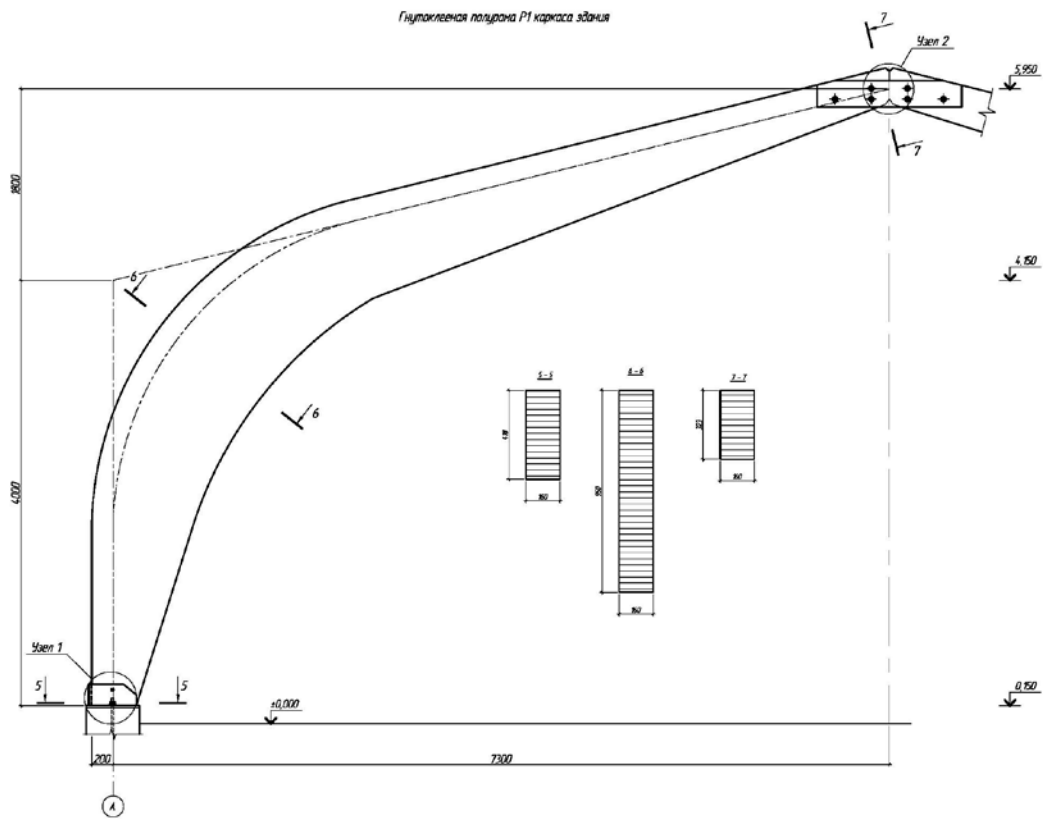


Рис. 2. Общий вид гнутоклееной полурамы Р1.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата

## Проверка устойчивости плоской формы деформирования рамы

Точку перегиба моментов, т.е. координаты точки с нулевым моментом находим из уравнения моментов, приравнявая его нулю:

$$M = A \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2} - H \cdot \left( f - tg\alpha \cdot \left( \frac{L}{2} - x \right) \right) = 0$$

$$103,81x - \frac{14,2x^2}{2} - 65,3(5,8 - 0,25(7,3 - x)) = 0$$

$$103,81x - 7,1x^2 - 65,3(5,8 - 1,83 + 0,25x) = 0$$

$$103,81x - 7,1x^2 - 254,7 - 16,3 = 0$$

$$-7,1x^2 + 87,5x - 254,7 = 0$$

$$7,1x^2 - 87,5x + 254,7 = 0$$

$$x = \frac{87,5 \pm \sqrt{87,5^2 - 4 \times 7,1 \times 254,7}}{2 \times 7,1} = \frac{87,5 \pm 20,6}{14,2}$$

$$x_1 = 7,6; \quad x_2 = 4,7.$$

Принимаем  $x_1 = 4,7$ , тогда:

$$y = f - tg\alpha \left( \frac{L_p}{2} - x \right) = 5,8 - 0,25(7,3 - 4,7) = 5,12 \text{ м}$$

Точка перегиба эпюры моментов соответствует координатам:  $x = 4,7$ ;  $y = 5,1$ .

Тогда расчетная длина растянутой зоны, имеющей закрепления по наружной кромке равна:

$$l_p^1 = l_{ст} + l_{гн} + l_{риг} - \frac{\frac{L}{2} - x}{\cos \alpha} = 1,7 + 3,9 + 5,2 - 2,7 = 8,1 \text{ м}$$

Расчетная длина сжатой зоны, наружной (раскреплённой) кромки ригеля (т.е. закреплений по растянутой кромке нет) равна:

$$l_p^2 = \frac{\frac{L}{2} - x}{\cos \alpha} = \frac{7,3 - 4,7}{0,9659} = 2,7 \text{ м}$$

Таким образом, проверку устойчивости плоской формы деформирования производим для 2-х участков.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									17
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

Проверка устойчивости производится по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_y R_c F} + \left( \frac{M_d}{\varphi_M W R_n} \right)^n \leq 1$$

1) Для сжатого участка  $l_{p2} = 2,7$  м находим максимальную высоту сечения из соотношения:

$$h^{max} = h_k + \frac{(h_{гн} - h_k) \times l_{p2}}{l_p} = 0,323 + \frac{0,627 \times 2,39}{5,2} = 0,65 \text{ м}$$

Гибкость всего элемента относительно оси у

$$\lambda_y = \frac{l_{p2}}{0,289 \times b} = \frac{2,7}{0,289 \times 0,16} = 58,4$$

Коэффициент продольного изгиба

$$\varphi_y = \frac{3000}{\lambda_y^2} = \frac{3000}{58,4^2} = 0,879$$

Коэффициент  $\varphi_M$  для изгибаемых элементов прямоугольного постоянного поперечного сечения, шарнирно закрепленных от смещения из плоскости изгиба и закрепленных от поворота вокруг продольной оси в опорных сечениях

$$\varphi_M = 140 \times \frac{b^2}{l_{p2} \times h^{max}} \times k_\phi = 140 \times \frac{0,16^2}{2,7 \times 0,65} \times 1,13 = 2,31$$

Площадь расчетного сечения

$$F_2 = h^{max} \times b = 650 \times 160 = 104 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Расчетный момент сопротивления поперечного сечения

$$W_2 = \frac{b \times (h^{max})^2}{6} = \frac{160 \times 650^2}{6} = 11,3 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	

Показатель степени  $n=2$ , т.к. на данном участке нет закреплений растянутой зоны.

Находим максимальный момент и соответствующую продольную силу на расчетной длине 2,7 м, при этом горизонтальная проекция этой длины будет равна:

$$l_{p2}^{\text{гор}} = l_{p2} \times \cos \alpha = 2,7 \cdot 0,97 = 2,62 \text{ м}$$

Максимальный момент будет в сечении с координатами  $x_2$  и  $y_2$ :

$$x_2 = \frac{l_p - l_{p2}^{\text{гор}}}{2} = \frac{14,6 - 2,62}{2} = 5,99 \text{ м}$$

$$y_2 = y + \frac{l_{p2}}{2} \times \sin \alpha = 5,12 + 1,35 \times 0,242 = 5,45 \text{ м}$$

$$M_{x2} = A \times x_2 - \frac{qx_2^2}{2} - Hy_2 = 103,8 \times 5,99 - \frac{14,22 \times 5,99^2}{2} - 65,33 \cdot 5,45$$

$$= 621,8 - 256 - 356 = 9,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Продольная сила в сечении с координатой  $x_2$

$$N_{x2} = (A - qx_2) \sin \beta + H \cos \beta$$

$$= (103,8 - 14,2 \times 5,99) \cdot 0,79 + 65,33 \times 0,616$$

$$= 82 - 67,2 + 40,2 = 55 \text{ кН}$$

Гибкость всего элемента относительно оси  $x$

$$\lambda_{x2} = \frac{l_{p2}}{0,289h^{\text{max}}} = \frac{2,7}{0,289 \cdot 0,65} = 14,4$$

Коэффициент  $\varphi_{x2}$

$$\varphi_{x2} = \frac{3000}{\lambda_{x2}^2} = \frac{3000}{14,4^2} = 14,5$$

$$K_{\text{Ж}}^N = 0,66 + 0,34\beta = 0,66 + 0,34 \times \frac{0,323}{0,65} = 0,83$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	

$$\varphi_{x2} \times K_{Ж}^N = 0,83 \times 14,5 = 12, \text{ т. к. } \varphi_{x1} \times K_{Ж}^N > 1, \text{ то принимаем } \varphi \times K_{Ж}^N = 1$$

Коэффициент (для  $h^{max}$ )  $m_{\phi} = 0,945$

$$R_c = 15 \times m_b \times m_{\phi} \times \frac{1}{\gamma_H} = 15 \cdot 1 \cdot 0,945 \cdot \frac{1}{0,95} = 16,4 \text{ МПа}$$

Коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, определяемый по формуле

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi_{x2} K_{Ж}^N F_2 R_c} = 1 - \frac{65,33 \times 10^3}{1 \times 104 \times 10^3 \times 16,4} = 0,96$$

Момент по деформируемой схеме:

$$M_d = \frac{M_{x1}}{\xi} = \frac{9,8}{0,96} = 10,24 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

При расчёте элементов переменного по высоте сечения, не имеющих закреплений из плоскости по растянутой кромке или при числе закреплений  $m < 4$ , коэффициенты  $\varphi_y$  и  $\varphi_M$  - следует дополнительно умножать соответственно на коэффициенты  $K_{ЖN}$  и  $K_{ЖM}$  в плоскости уз:

$$K_{ЖN} = 0,07 + 0,93\beta = 0,07 + 0,93 \frac{h_k}{h^1} = 0,07 + 0,93 \frac{0,323}{0,65} = 0,53$$

$$K_{ЖM} = \left(\frac{h_k}{h^1}\right)^{1/2} = \sqrt{\frac{0,323}{0,65}} = 0,7$$

Тогда

$$\varphi_y \times K_{ЖN} = 0,879 \times 0,53 = 0,47$$

$$\varphi_M \times K_{ЖM} = 2,431 \times 0,7 = 1,62$$

Получим :

$$\frac{N}{\varphi_y R_c F} + \left(\frac{M_d}{\varphi_M W R_n}\right)^n \leq 1$$

$$\frac{5,5 \times 10^3}{0,47 \times 104 \times 10^3 \times 16,4} + \left(\frac{10,21 \times 10^6}{1,62 \times 11,3 \times 10^6 \times 16,4}\right)^2 = 0,07 + 0,034^2 = 0,071 < 1$$

Инв. № подл.	Взам. инв. №					Лист
Инв. № подл.	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка
						20

2) Производим проверку устойчивости плоской формы деформирования растянутой зоны на расчетной длине  $l_{p1} = 8,1$  м , где имеются закрепления растянутой зоны.

Гибкость:

$$\lambda = \frac{l_{p1}}{0,289b} = \frac{8,1}{0,289 \times 0,16} = 175,2$$

Коэффициент продольного изгиба

$$\varphi_y = \frac{3000}{\lambda_y^2} = \frac{3000}{175,2^2} = 0,098$$

Коэффициент  $\varphi_M$  для изгибаемых элементов прямоугольного постоянного поперечного сечения, шарнирно закрепленных от смещения из плоскости изгиба и закрепленных от поворота вокруг продольной оси в опорных сечениях

$$\varphi_M = 140 \times \frac{b^2}{l_{p1} h_{ГН}} \times k_\phi = 140 \times \frac{0,16^2}{8,1 \times 0,95} \times 1,13 = 0,53$$

При закреплении растянутой кромки рамы из плоскости, коэффициент  $\varphi_y$  необходимо умножить на коэффициент  $K_{II}^N$ , а  $\varphi_M$ - на коэффициент  $K_{ПМ}$ .

$$\begin{aligned} K_{II}^N &= 1 + \left( 0,75 + 0,06 \times \left( \frac{l_{p1}}{h} \right)^2 + 0,6 \times \alpha_p \times \frac{l_{p1}}{h} - 1 \right) \times \frac{m^2}{m^2 + 1} \\ &= 1 + \left( 0,75 + 0,06 \times \left( \frac{8,1}{0,95} \right)^2 + 0,6 \times 1,326 \times \frac{8,1}{0,95} - 1 \right) \times 1 \\ &= 1,75 + 4,34 + 6,8 - 1 = 11,9 \end{aligned}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	

$$\begin{aligned}
K_{\text{ПМ}} &= 1 + \left( 0,142 \times \frac{l_{p1}}{h} + 1,76 \times \frac{h}{l_{p1}} + 1,4\alpha_p - 1 \right) \times \frac{m^2}{m^2 + 1} \\
&= 1 + \left( 0,142 \times \frac{8,1}{0,95} + 1,76 \times \frac{0,95}{8,1} + 1,4 \times 1,31 - 1 \right) \times 1 \\
&= 1,21 + 0,2 + 1,86 = 3,27
\end{aligned}$$

$$\varphi_y \times K_{\text{П}}^N = 0,098 \times 11,9 = 1,2 > 1, \text{ следовательно } \varphi_y \times K_{\text{П}}^N = 1$$

$$\varphi_M \times K_{\text{ПМ}} = 3,27 \times 0,53 = 1,7 > 1, \text{ следовательно } \varphi_M \times K_{\text{ПМ}} = 1$$

Подставляем полученные значения в формулу проверки устойчивости плоской формы деформирования:

$$\frac{114,8 \times 10^3}{1,2 \times 152 \cdot 10^3 \cdot 12,2} + \frac{174,5 \cdot 10^6}{1,7 \times 24,1 \cdot 10^6 \cdot 12,2} = 0,052 + 0,35 = 0,402 < 1$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									22
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

## Расчет опорного узла

Вертикальная опорная реакции:

$$A = 103,81 \text{ кН};$$

Горизонтальная опорная реакция:

$$H = 65,33 \text{ кН};$$

Площадь поперечного сечения в опорном узле:

$$F_{\text{оп}} = b \times h_{\text{оп}} = 160 \times 418 = 66,9 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$$

Напряжения смятия:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{A}{F_{\text{оп}}} = \frac{103,81 \times 10^3}{66,9 \times 10^3} = 1,6 \text{ МПа} < R_{\text{см}} = \frac{15}{0,95} = 15,8 \text{ МПа}$$

Требуемая высота диафрагмы (из расчёта на смятие рамы поперёк волокон от действия распора):

$$R_{\text{см}}^{90} = \frac{3}{0,95} = 3,2 \text{ МПа}$$

$$h_{\text{тр}} = \frac{H}{b R_{\text{см}}^{90}} = \frac{65,33 \times 10^3}{160 \times 3,2} = 127,6 \text{ мм}$$

Принимаем высоту диафрагмы  $h_d = 200 \text{ мм}$ .

$$M = \frac{H \times b}{16} = \frac{65,33 \times 0,16}{16} = 0,65 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Требуемый момент сопротивление вертикальной диафрагмы:

$$W_{\text{тр}} = \frac{M \times \gamma_n}{R_y \times \gamma_c} = \frac{0,65 \times 10^6 \times 0,95}{240 \times 0,9} = 0,003 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$$

Этому моменту сопротивления должен быть равен момент сопротивления, определенный по формуле:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						Лист
							23	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка		





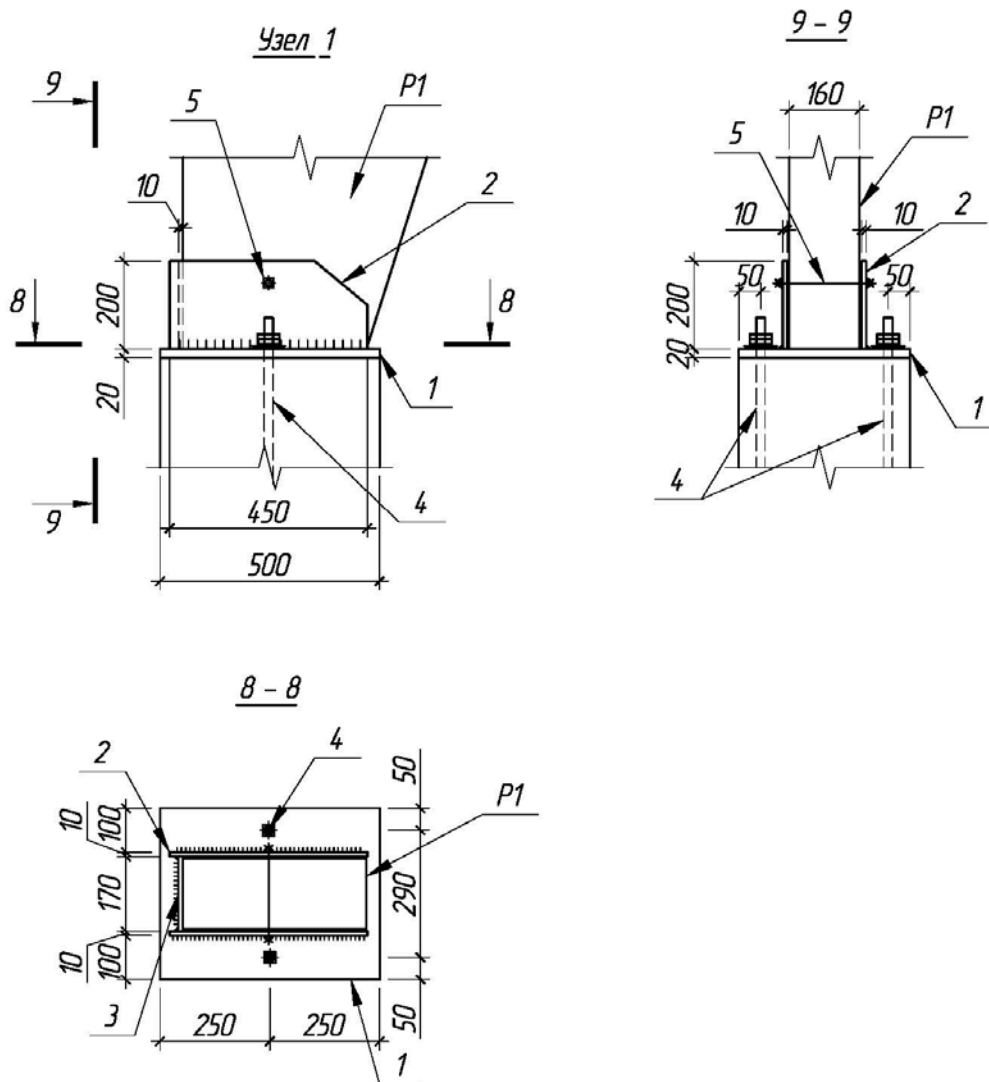


Рис. 3. Общий вид опорного узла.

Инв. № подл.	Подп. и дата					Инв. № подл.	Взам. инв. №
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата		
Пояснительная записка							Лист
							25

## Расчет конькового узла

1. Проверка торца рамы на смятие.

Площадь торца рамы в коньке:

$$F_{\text{см}} = b(h_k - 4t_{\text{сл}}) = 160 \times (323 - 4 \times 19) = 39,5 \times 10^3 \text{ мм}^2.$$

Усилие, вызывающее смятие:

$$N_{\text{см}} = H = 65,33 \text{ кН.}$$

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом 14 градусов:

$$R_{\text{см}}^{\alpha} = \frac{R_{\text{см}}}{1 + \left(\frac{R_{\text{см}}}{R_{\text{см}}^{90}} - 1\right) \times \sin^3 \alpha} = \frac{15}{1 + \left(\frac{15}{3} - 1\right) \times 0,24^3} = 14,21 \text{ МПа}$$

Проверка торца рамы на смятие:

$$\sigma = \frac{N_{\text{см}}}{F_{\text{см}}} = \frac{65,33 \times 10^3}{39,5 \times 10^3} = 1,65 \text{ МПа} < R_{\text{см}}^{\alpha} = 14,21 \text{ МПа}$$

2. Расчет и конструирование конькового узла:

Поперечная сила в коньковом узле при несимметричной снеговой нагрузке:

$$Q = \frac{s \times L \times B}{8} = \frac{1,764 \times 6 \times 14,6}{8} = 19,3 \text{ кН}$$

Усилия, действующие на болты, присоединяющие накладку к поясу:

$$R_1 = \frac{Q \times l_2}{l_1} = \frac{19,3 \times 3}{2} = 28,95 \text{ кН}$$

$$R_2 = R_1 - Q = 28,95 - 19,3 = 9,65 \text{ кН}$$

Ширина накладок:  $b_{\text{накл}} \geq 0,5 b = 0,5 \times 160 = 80$ ; принимаем  $b_{\text{накл}} = 100 \text{ мм}$ .

Принимаем болты диаметром  $d = 24 \text{ мм}$ .

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									26
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка			

Расчетная несущая способность 1 среза 1 нагеля:

$$T_{И} = (1,8d^2 + 0,02a^2)\sqrt{k_{\alpha}} = (1,8 \cdot 2,4^2 + 0,02 \cdot 10^2)\sqrt{0,5} = (10,4 + 2) \times 0,71 = 8,8 \text{ кН};$$

$$T_{И}' = 2,5d^2\sqrt{k_{\alpha}} = 2,5 \cdot 2,4^2 \cdot \sqrt{0,5} = 10,2 \text{ кН.}$$

Смятие крайних элементов-накладок при угле смятия  $90^{\circ}$ :

$$T_{смa} = 0,8 \times a \times d \times k_{\alpha} = 0,8 \cdot 10 \cdot 2,4 \cdot 0,5 = 9,6 \text{ кН}$$

$$k_{\alpha} = 0,547 \text{ для угла } 90^{\circ} - \alpha = 90^{\circ} - 14^{\circ} = 76^{\circ}$$

Смятие среднего элемента рамы при угле смятия  $90^{\circ} - \alpha = 90^{\circ} - 14^{\circ} = 76^{\circ}$ :

$$k_{\alpha} = 0,547$$

$$T_{смc} = 0,5 \times c \times d \times k_{\alpha} = 0,5 \times 16 \times 2,4 \times 0,547 = 10,5 \text{ кН}$$

Расчетная несущая способность одного болта на один рабочий

шов:  $[T] = T_{И} = 8,8 \text{ кН}$ , тогда:

- необходимое количество болтов в ближайшем к узлу ряду:

$$n_{б1} = \frac{R_1}{n_{ш} \times [T]} = \frac{28,95}{2 \cdot 8,8} = 1,6 \Rightarrow 2 \text{ болта}$$

- количество болтов в дальнем от узла ряду:

$$n_{б2} = \frac{R_2}{n_{ш} \times [T]} = \frac{9,65}{2 \cdot 8,8} = 0,5 \Rightarrow 1 \text{ болт}$$

Принимаем расстояние между болтами вдоль волокон:

$$l_1 = S_1 \geq 7 \times d = 7 \times 24 = 168 \Rightarrow 170 \text{ мм.}$$

$$l_2 = 3 \times l_1 = 3 \times 170 = 510 \text{ мм}$$

$$l_3 = l_2 - l_1 = 510 - 170 = 340 \text{ мм}$$

Расстояние между болтами поперек волокон:

$$S_2 \geq 3,5d = 3,5 \cdot 24 = 84 \text{ см} \approx 100 \text{ мм}$$

Расстояние от края накладки до болтов поперек волокон:

$$S_3 \geq 3d = 3 \cdot 24 = 72 \text{ мм} \approx 75 \text{ мм}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата	Пояснительная записка	

Изгибающий момент в накладках:

$$M_H = Q \times l_1 = 19,3 \times 0,17 = 3,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Момент инерции накладки, ослабленной двумя отверстиями диаметром 24мм:

$$\begin{aligned} J_H &= \frac{b_H h_H^3}{12} - 2 \frac{b_H d^3}{12} - 2 b_H d \left( \frac{S_3}{2} \right)^2 \\ &= \frac{100 \times 250^3}{12} - 2 \times \frac{100 \cdot \times}{12} - 2 \times 100 \times 24 \times \left( \frac{75}{2} \right)^2 \\ &= 0,14 \times 10^9 \text{ мм}^4 \end{aligned}$$

Момент сопротивление накладки:

$$W_H = \frac{J_H}{h_H/2} = \frac{0,14 \times 10^9}{250/2} = 1,12 \times 10^6 \text{ мм}^3$$

Напряжение в накладках:

$$\sigma = \frac{M_H}{W_H} = \frac{3,3 \times 10^6}{1,12 \times 10^6} = 2,95 \text{ МПа} < R_H = \frac{13}{0,95} = 13,7 \text{ МПа}$$

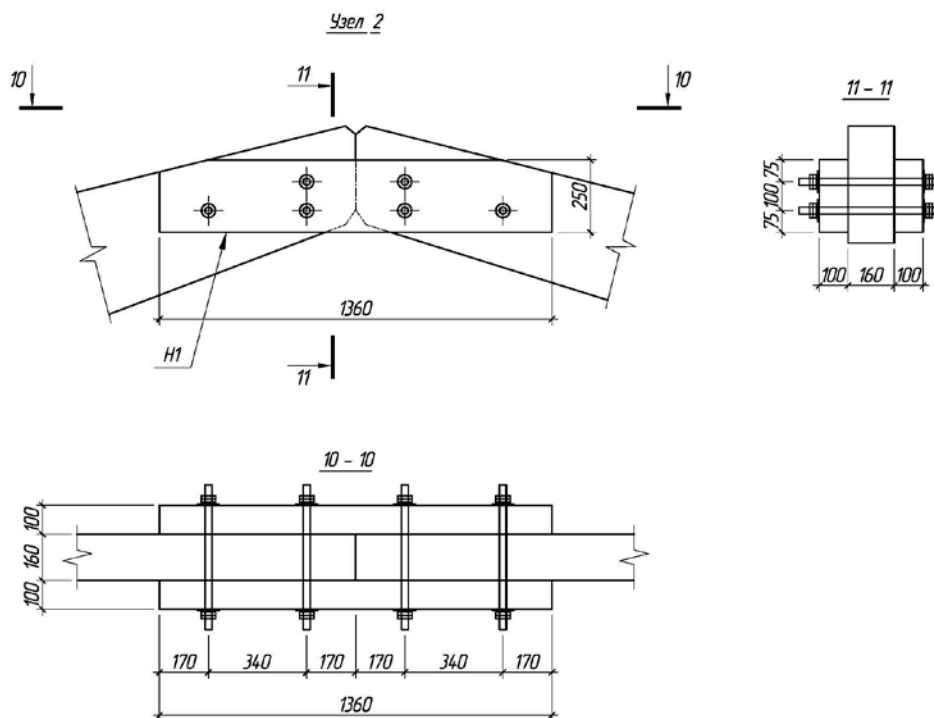


Рис. 4. Общий вид конькового узла.

Инв. № подл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата
------	---------	------	--------	-------	------



Приложение 1.  
Графическая часть

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подл.	Дата

