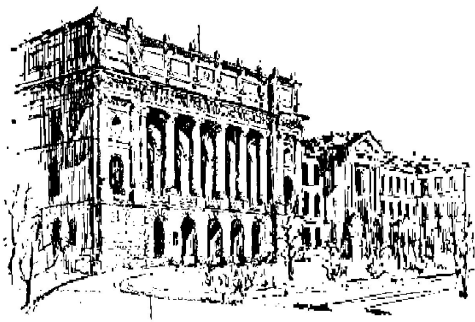


Санкт-Петербургский Политехнический Университет
Петра Великого
Инженерно-строительный институт
Кафедра «Строительная механика и строительные конструкции»



Курсовой проект

Дисциплина: Конструкции из дерева и пластмасс
Каркас одноэтажного промышленного здания

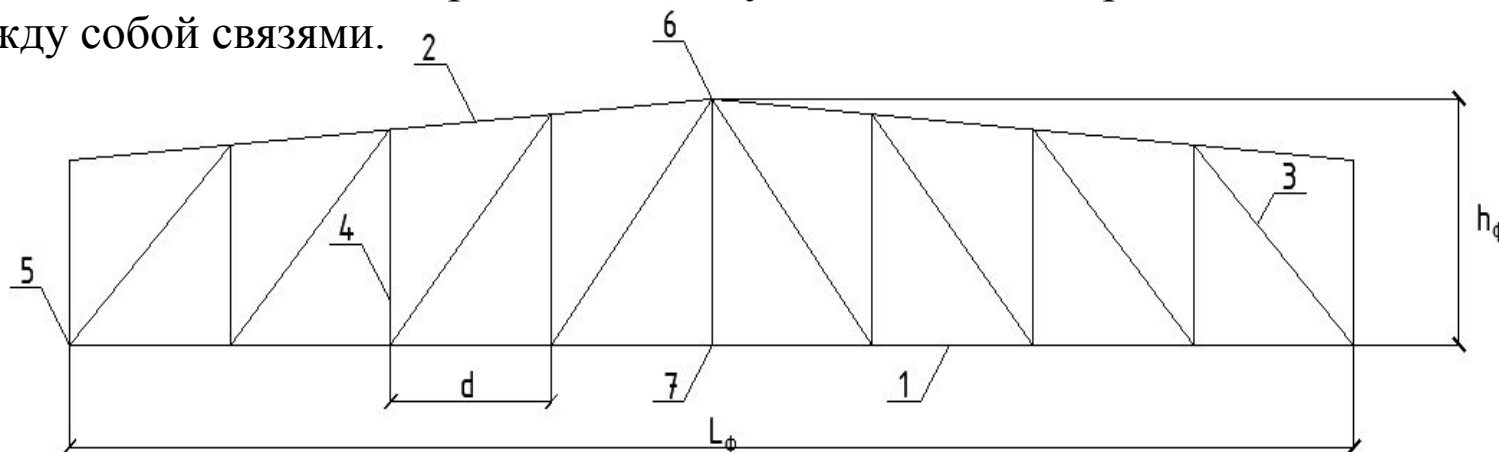
- Выполнила: Логинова И.И. 43102/1
- Руководитель: профессор Кононова М.Ю.

Исходные данные

- Одноэтажное промышленное здание расположено на территории г.Уфа во втором климатическом районе.
- длина здания $l_{зд}=68$ м
- пролет здания $l_{пр}=16,8$ м
- высота здания $H=4,35$ м
- тип фермы – полигональная

Конструктивная схема здания

Каркас здания состоит из поперечных рам, установленных вдоль здания с определенным шагом, образованных двумя колоннами и ригелями, соединенных между собой связями.



- 1 - Нижний пояс
- 2 - Верхний пояс
- 3 - Раскосы
- 4 - Стойки

Точки пересечения элементов фермы – узлы.

Выделяют несколько характерных узлов:

- 5 – опорный
- 6 – коньковый
- 7 – центральный узел нижнего пояса

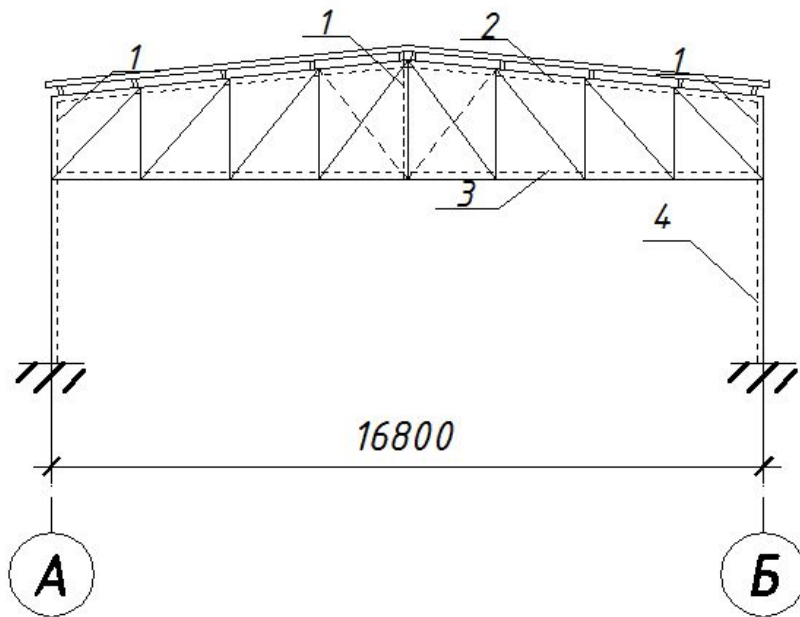
В проекте рассмотрена равнопанельная ферма с шагом $d = 2,1$ м.

Высота полигональной фермы зависит от пролета и вычисляется по формуле:

$$h_\phi = \frac{l_{\text{пр}}}{6} = \frac{16,8}{6} = 2,8 \text{ м} \quad (1)$$

Шаг рам $a = 3660$ мм, а у торцов здания он равен $0,8 \cdot 3660 = 2890$ мм.

Связи



Связи обеспечивают пространственную жесткость, геометрическую неизменяемость каркаса, устойчивость отдельных его элементов.

1-вертикальные связи между фермами, объединяющие центральные стойки и опорные стойки соседних ферм;

2-горизонтальные связи в плоскости верхнего пояса, объединяет соседние верхние пояса, расположены в двух торцах здания на расстоянии не более 30 м;

3-горизонтальные связи плоскости нижнего пояса, объединяющие нижние пояса соседних ферм;

4-вертикальные связи в плоскости колонн, расположены в двух торцах здания на расстоянии не более 30 м;

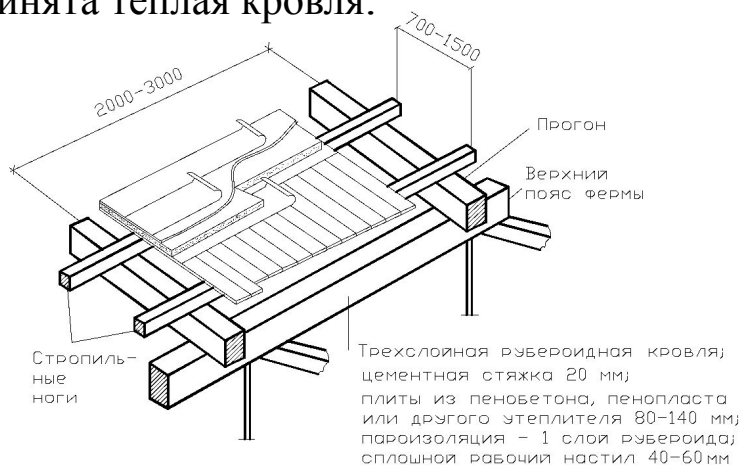
5-горизонтальная обвязка каркаса балками

Конструирование и расчет настила

Рабочий настил служит основанием под кровлю. Рассматривается два вида сочетания нагрузок:

- постоянная (собственный вес) + временная (снеговая)
- постоянная + временная (вес сосредоточенного груза - ремонтного рабочего 100 кгс)

Принята теплая кровля.



№	Вид нагрузки		γ_f	g
1	3-слойный гидроизоляционный ковер из рубероида	10,0	1,3	13,0
2	Цементная стяжка 20 мм	36,0	1,3	46,8
3	Утеплитель h=60 мм	6,0	1,3	7,8
4	Пароизоляция	3,0	1,3	3,9
5	Рабочий настил	12,5	1,1	13,75
Σ		67,5		85,25

Снеговая нагрузка: $S_0 = 0,7 \cdot c_{\text{е}} \cdot \mu \cdot S_g = 0,7 \cdot 1 \cdot 120 = 84 \text{ кг/м}^2$

Нормативное значение снеговой нагрузки: $p_n^* = S_0 \cdot \cos \alpha = 84 \cdot 1 = 84 \text{ кг/м}^2$

Расчетное значение определяется по формуле: $p^* = p_n^* \cdot \gamma_f = 84 \cdot 1,4 = 117,6 \text{ кг/м}^2$

Расчет на 1 сочетание нагрузок постоянная + снеговая

По прочности:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R_u \cdot m_B \quad (2)$$

$$M_{\max} = \frac{(q+p) \cdot c^2}{8} = \frac{(85,25+117,6) \cdot 0,915^2}{8} = 21,23 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

$$W = \frac{B \cdot h^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 0,025^2}{6} = 8,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\sigma = \frac{21,23}{8,33 \cdot 10^{-5}} = 2,55 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^2 < R_u = 13 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^2$$

Условие успешно выполнено.

По жесткости:

$$f_{\max} = \frac{2,13 \cdot (q_n + p_n) c^4}{384 \cdot EI} \leq \frac{1}{150} c \quad (3)$$

$$I = \frac{B \cdot h^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 0,025^3}{12} = 1,04 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$f_{\max} = \frac{2,13 \cdot (67,5+84) 0,915^4}{384 \cdot 10^9 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6}} = 0,0006 \text{ м} < \frac{1}{150} \cdot 0,915 = 0,0061 \text{ м}$$

Условие успешно выполнено.

Расчет на 2 сочетание нагрузок постоянная + вес человека

Нагрузки от сосредоточенной силы передаются распределенными на ширину 0,5 м рабочего настила. Для расчета рассмотрена полоса настила шириной 1 м.

По прочности:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R_u \cdot m_B \quad (2)$$

$$M_{\max} = 0,07 \cdot g \cdot c^2 + 2 \cdot 0,207 \cdot P_{\text{чел}} \cdot c \quad (4)$$

$$P_{\text{чел}} = P_{\text{нчел}} \cdot \gamma_f = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ кг}$$

$$M_{\max} = 0,07 \cdot 117,6 \cdot 0,915^2 + 2 \cdot 0,207 \cdot 120 \cdot 0,915 = 52,35 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{52,35}{8,33 \cdot 10^{-5}} = 6,28 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^2 < R_u = 13 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^2$$

Условие успешно выполнено.

Проверку на прогиб на 2 сочетание нагрузок не выполняют.

Расчет и конструирование стропил

- Панели ферм расположены на расстоянии больше 2 м друг друга, поэтому введены стропильные ноги. Стропила уложены по прогонам, поперечное сечение – брус.
- Расчетный пролет стропильной ноги:

$$l_{\text{CH}} = \frac{d}{\cos \alpha} = \frac{2,1}{1} = 2,1 \text{ м}$$

- Сбор нагрузок

Нормативная нагрузка от собственного веса
 $q_n = g_n \cdot c \cdot \cos \alpha + g_{\text{CH}} = 66,8 \text{ кг/м}$

Расчетная нагрузка от собственного веса
 $q = g \cdot c \cdot \cos \alpha + g_{\text{CH}} \cdot \gamma_f = 83,5 \text{ кг/м}$

Расчетная погонная нагрузка от веса снега:
 $p = p^* \cdot c \cdot \cos \alpha = 117,6 \cdot 0,915 \cdot 1 = 107,6 \text{ кг/м}$

Нормативная погонная нагрузка от веса снега
 $p_n = p \cdot 0,7 = 107,6 \cdot 0,7 = 75,32 \text{ кг/м}$

- Расчет стропильной ноги на прочность

$$\sigma_{\text{И}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{CH}}} \leq R_{\text{И}} \quad (3)$$

$$M_{\text{max}} = \frac{(q+p) \cdot l_{\text{CH}}^2}{8} = \frac{(83,5+107,6) \cdot 2,1^2}{8} = 105,3 \text{ кгм}$$

$$W_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{max}}}{R_{\text{И}}} = \frac{105,3}{13 \cdot 10^5} = 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 = 81 \text{ см}^3$$

Принимаем сечение размерами 32x125 мм,
 $W = 83,3 \text{ см}^3$

- Расчет стропильной ноги на жесткость

$$f = \frac{5 \cdot (q_n + p_n) \cdot l_{\text{CH}}^4}{384 EI} \leq f_{\text{adm}} = \frac{1}{200} l_{\text{CH}} \quad (4)$$

$$I = \frac{3,2 \cdot 12,5^3}{12} = 520,8 \text{ см}^4 = 520,8 \cdot 10^{-8}$$

$$f = \frac{5 \cdot (83,5 + 75,32) \cdot 2,1^4}{384 \cdot 10^9 \cdot 520,8 \cdot 10^{-8}} = 0,0077 \text{ м} < \frac{1}{200} 2,1 = 0,0105 \text{ м}$$

Расчет и конструирование прогонов

Прогоны устанавливаются по верхнему поясу фермы в местах узлов верхнего пояса. В фермах прогоны играют роль главных балок, в сечении которых находятся две доски, поставленные на ребро и скрепленные по длине гвоздями.

- Сбор нагрузок

Нормативная прогонная нагрузка от собственного веса

$$q_n = g_n \cdot \frac{d}{\cos \alpha} \cdot \cos \alpha + g_{\text{пр}} = g_n \cdot d + g_{\text{пр}} \quad (5)$$

$$q_n = 67,5 \cdot 2,1 + 20 = 161,75 \text{ кг/м}$$

Расчетная прогонная нагрузка от собственного веса:

$$q = g \cdot d + g_{\text{пр}} \cdot \gamma_f \quad (6)$$

$$q = 85,25 \cdot 2,1 + 20 \cdot 1,1 = 218,93 \text{ кг/м}$$

Расчетная погонная нагрузка от действия снега:

$$p = S_0 \cdot d \cdot \cos \alpha = 120 \cdot 2,1 \cdot 1 = 252 \text{ кг/м}$$

Нормативная погонная снеговая нагрузка:

$$p_n = p \cdot 0,7 = 252 \cdot 0,7 = 176,4 \text{ кг/м}$$

- Расчет прогона

На прочность

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{max}}}{W} \leq R_{\text{и}} m_B \quad (6)$$

$$M_{\text{max}} = \frac{(q+p) \cdot l_{\text{пр}}^2}{12} = \frac{(218,93+252) \cdot 3,66^2}{12} = 525 \text{ кг}\cdot\text{м}$$

Из условия прочности:

$$W_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{max}}}{R_{\text{и}}} = \frac{52500}{130} = 453 \text{ см}^3$$

Поперечное сечение прогона составленное из двух досок, где каждая сечением 44x200мм, $W=586,7 \text{ см}^3$, $I=5866,7 \text{ см}^4$

На жесткость

Условие жесткости:

$$f = \frac{(q_n + p_n) l_{\text{пр}}^4}{384 EI} \leq f_{\text{adm}} = \frac{1}{200} l_{\text{пр}}$$
$$f = \frac{(161,75+176,4) \cdot 3,66^4}{384 \cdot 10^9 \cdot 58,67 \cdot 10^{-6}} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} < \frac{3,66}{200} = 18,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Расчет и конструирование фермы. Сбор нагрузок

Принимаем, что все нагрузки, действующие на ферму, приложены к узлам верхнего пояса в виду сосредоточенных сил G и P .

Весовая нагрузка:

$$G = \frac{(g + g_{св}) \cdot a \cdot d}{\cos \alpha} \quad (7)$$

Полная расчетная постоянная нагрузка на 1 м^2 кровли:

$$g = g_1 + g_2 + g_3 \quad (8)$$

g_1 – собственный вес 1 м^2 покрытия;

g_2 – собственный вес прогона, отнесенный к 1 м^2 площади покрытия;

g_3 – собственный вес стропильно ноги, отнесенный 1 м^2 площади покрытия

$$g_1 = 85,25 \text{ кг/м}^2$$

$$g_2 = A_{\text{пр}} \cdot \gamma \cdot \gamma_f \cdot \frac{1}{d} = 4,61 \text{ кг/м}^2$$

$$g_3 = A_{\text{стр}} \cdot \gamma \cdot \gamma_f \cdot \frac{1}{c} = 2,4 \text{ кг/м}^2$$

$$g = 85,25 + 4,61 + 2,4 = 92,26 \text{ кг/м}^2$$

$g_{св}$ – расчетное значение собственного веса фермы, приведенное к 1 м^2 поверхности кровли:

$$g_{св} = \frac{g + p_{сн}}{\frac{1000}{\Gamma \cdot k_{св}} - 1} = 18,1 \text{ кг/м}^2 \quad (9)$$

$$G = \frac{(92,26 + 18,1) \cdot 3,66 \cdot 2,1}{1} = 1167,12 \text{ кг}$$

Снеговая нагрузка:

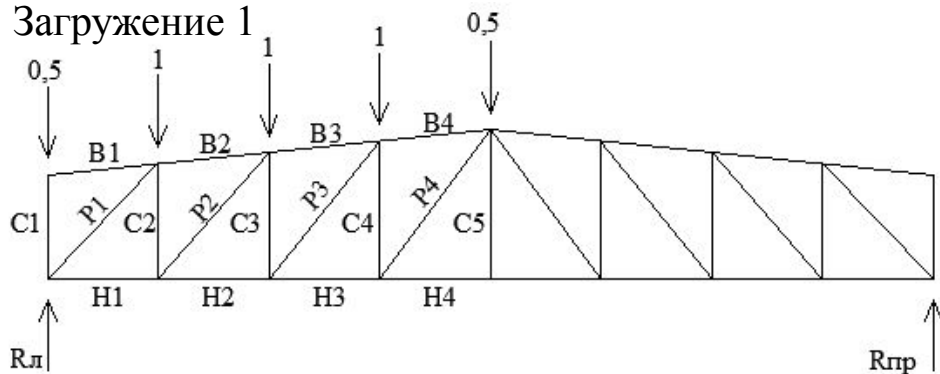
$$P = p_{сн} \cdot a \cdot \frac{d}{\cos \alpha}$$
$$P = 117,6 \cdot 3,66 \cdot \frac{2,1}{1} = 922,32 \text{ кг}$$

Кроме вертикальных нагрузок на ферму действует и горизонтальные – ветровые нагрузки, но так как уклон фермы составляет меньше 30 градусов, то этими нагрузками можно пренебречь.

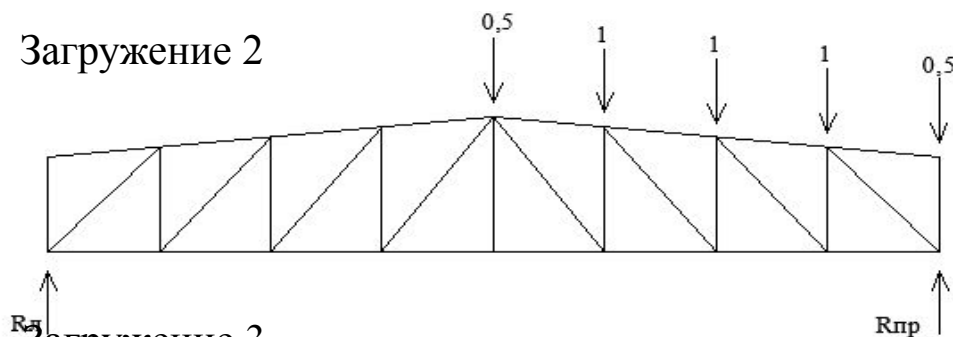
Определение усилий в стержнях фермы

Определение усилий производим методом с использованием числовых таблиц усилий от некоторых условных единичных нагрузок.

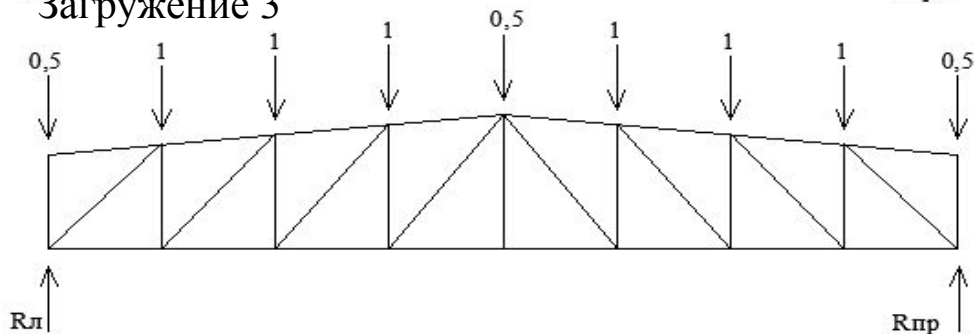
Загрузка 1



Загрузка 2



Загрузка 3



Элемент	Усилия в стержнях фермы		
	Загрузка 1	Загрузка 2	Загрузка 3
B1	0	0	0
B2	-6,21	-4,86	-7,10
B3	-9,48	-7,84	-11,11
B4	10,51	-9,38	-12,76
H1	6,19	4,85	7,08
H2	9,43	7,79	11,05
H3	10,46	9,33	12,70
H4	9,77	9,77	12,53
P1	-8,89	-6,96	-10,17
P2	-4,91	-4,47	-6,02
P3	-1,63	-2,43	-2,61
P4	1,15	0,72	0,27
C1	-1,04	-0,58	-1,04
C2	3,68	3,35	4,51
C3	1,27	1,89	2,02
C4	-0,91	0,58	-0,21
C5	0	0	0

Определение размеров поперечных сечений элементов фермы

Нижний пояс

Расчет производится по наиболее напряженному стержню – НЗ.

Условие прочности для нижнего пояса:

$$\sigma = \frac{N_{НП}}{A_{НТ}} \leq R_p \cdot m_B \cdot m_0 \quad (10)$$

$A_{НТ}$ – площадь поперечного сечения нетто (с учетом возможных ослаблений сечения)

$$A_{НТ} = 0,75 \cdot A_{бр} \quad (11)$$

$$A_{НТ}^{тр} \geq \frac{N_{НП}}{R_p \cdot m_B \cdot m_0} = \frac{12700}{100 \cdot 1 \cdot 0,8} = 158,75 \text{ см}^2$$

$$A_{бр}^{тр} = \frac{A_{НТ}^{тр}}{0,75} = \frac{158,75}{0,75} = 211,7 \text{ см}^2$$

$$h_{НП} \geq (1,5 \div 1,9) b_{НП} \quad (12) \quad \boxed{b_{НП} \times h_{НП} = 125 \times 200 \text{ мм}}$$

Проверка прочности ослабленного сечения:

$$\begin{aligned} \frac{N_{НП}}{A_{НП}} &= \frac{N_{НП}}{b_{НП}(h_{НП} - h_{вр})} \leq R_p \cdot m_B \cdot m_0 \\ \frac{N_{НП}}{A_{НП}} &= \frac{12700}{12,5(20 - 5)} = 67,73 \text{ кг/см}^2 < 100 \cdot 1 \cdot 0,8 \\ &= 80 \text{ кг/см}^2 \end{aligned}$$

Верхний пояс:

Подбор ведется по наиболее центрально сжатому элементу В4.

Условие прочности для верхнего пояса:

$$\sigma = \frac{N_{ВП}}{A_{НТ}} \leq R_c \cdot m_B \quad (13)$$

$$A_{бр}^{тр} \geq \frac{N_{ВП}}{R_c \cdot m_B} = \frac{12760}{140 \cdot 1} = 91,14 \text{ см}^2$$

$$b_{НП} = b_{ВП} \text{ и } h_{ВП} \geq b_{ВП}$$

$$\boxed{b_{ВП} \times h_{ВП} = 125 \times 125 \text{ мм}}$$

Условие устойчивости:

$$\sigma = \frac{N_{ВП}}{A_p \cdot \varphi} \leq R_c \cdot m_B \quad (14)$$

$$\sigma = \frac{12760}{156,25 \cdot 0,73} = 111,86 \text{ кг/см}^2 \leq 140 \text{ кг/см}^2$$

Определение размеров поперечных сечений элементов фермы

Сжатые раскосы:

рассчитываются как центрально сжатые элементы, выполняются из бруса сечением $b_p \times h_p$.
 $b_p = b_{ВП} = b_{НП} = 125$ мм. Все расчеты для раскосов ведутся аналогично расчетам верхнего пояса.

Раскос 1

$$b_{p1} \times h_{p1} = 125 \times 100 \text{ мм}$$

Раскос 2

$$b_{p2} \times h_{p2} = 125 \times 100 \text{ мм}$$

Раскос 3

$$b_{p3} \times h_{p3} = 125 \times 75 \text{ мм}$$

Раскос 4

$$b_{p4} \times h_{p4} = 125 \times 75 \text{ мм}$$

Стойки:

Растянутые стойки – тяжи, выполняют из стали.

Стойка 1

С1 работает на сжатие, ее проектируем из дерева с минимально возможным сечением

$$b_{C1} \times h_{C1} = 125 \times 75 \text{ мм}$$

Алгоритм:

$$A_{ст}^{тр} \geq \frac{N_C}{R_{bt} \cdot \gamma_c} \quad (15)$$

$$A_{ш} = \frac{N_C}{R_{CM90}} + A_{ст} \quad (16)$$

Стойка 2

$$d=22 \text{ мм}, 110 \times 110 \times 11 \text{ мм}$$

Стойка 3

$$d=16 \text{ мм}, 80 \times 80 \times 8 \text{ мм}$$

Стойка 4

Стойка 5

$$d=12 \text{ мм}, 60 \times 60 \times 6 \text{ мм}$$

Расчет и конструирование промежуточных узлов

Сопряжения элементов брусчатых ферм в промежуточных узлах осуществляют на лобовых врубках с одним зубом непосредственным лобовым упором или на врубках с подушками.

- Глубина врубок не должна быть более $\frac{1}{4}$ высоты бруса ослабленного элемента
- Геометрические оси всех элементов, сходящихся в узле, сводят в одной точке – центре узла
- Раскосы скреплены с поясам стяжными болтами диаметром 12мм
- Для случая с подушкой, стяжной болт установлен так, чтобы расстояние между краем подушки и оси болта было не менее $7d_6$.
- Перпендикулярно раскосу в соединении с подушкой устанавливаем стальной штырь диаметром 16 мм и длиной 200 мм.

При проектировании узла в первую очередь пробуем решить его на лобовой врубке. Если проверка на смятие не проходит, то проектируем узел в виде опорной подушки.

Алгоритм

$$h_{вр} \leq \frac{h_{ВП}}{4}$$

Проверка на смятие ВП по площадке смятия:

$$\sigma_{см} = \frac{N_p}{b_{см} h_{см}} \leq R_{см} \alpha \cdot m_B \quad (17)$$

$$b_{см} = b_p$$

$$h_{см} = \frac{h_{вр}}{\cos \alpha}$$

$$R_{см} \alpha = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}$$

Если прочность на смятие не обеспечена, то изменяем конструкцию узла на врубку с опорной подушкой.

Проверяем прочность на смятие в зоне рабочего опирания подушки на верхний пояс:

$$\sigma_{см} = \frac{N_{л} - N_{пр}}{b h_{вр}} \leq R_{см} \quad (18)$$

Проверяем необходимую длину скалывания $l_{ск}$:

$$l_{ск} = \frac{N_{л} - N_{пр}}{b R_{ск}} \quad (19)$$

$$l_{ск} \geq 1,5 h_{ВП}$$

$$l_{ск} \leq 10 h_{вр}$$

Расчет и конструирование промежуточных узлов

Узел 1 – примыкание Р1 и С2 к ВП

врубка с опорной подушкой

$$l_{ск} = 42 \text{ см}$$

Узел 2 – примыкание Р2 и С3 к ВП

врубка с опорной подушкой

$$l_{ск} = 38 \text{ см}$$

Узел 3 – примыкание Р3 и С4 к ВП

лобовая врубка с одним лобовым упором

Узел 4 – примыкание Р2 и С2 к НП

врубка с опорной подушкой

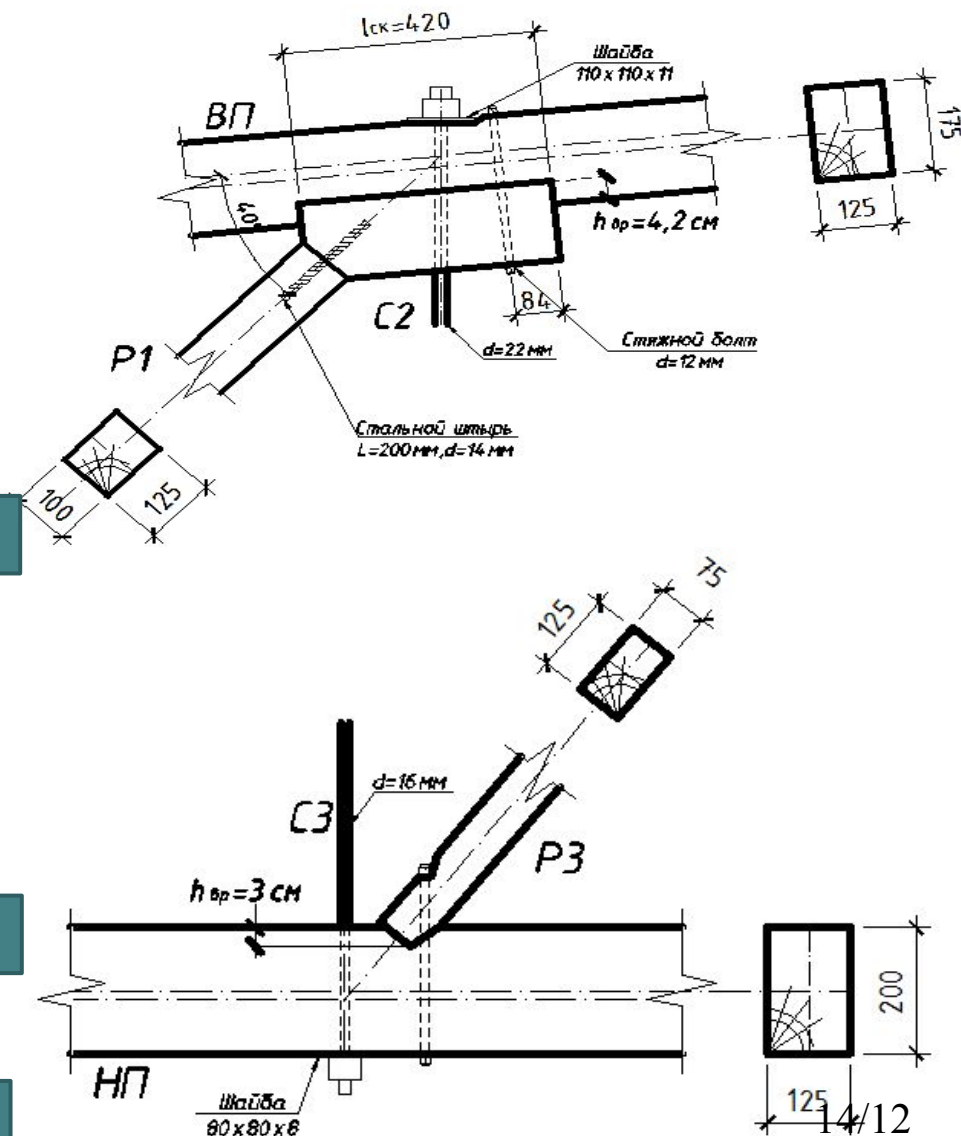
$$l_{ск} = 30 \text{ см}$$

Узел 5 – примыкание Р3 и С3 к НП

лобовая врубка с одним лобовым упором

Узел 6 – примыкание Р4 и С4 к НП

лобовая врубка с одним лобовым упором



Расчет и конструирование опорного узла

Для конструкции опорного узла фермы в нижнем поясе выбираем конструкцию на натяжных хомутах, т.к. $N_{НП}=12,70 \text{ т} > 9 \text{ т}$

Верхний сжатый пояс упирается во вкладыш. Усилие от опорного вкладыша передается на швеллер, а с последнего – на натяжные хомуты, состоящие из круглых стальных тяжей, охватывающих с двух сторон деревянные накладки, и уголков, через которые усилие передается на торцевые поверхности накладок.

1. Проверка на смятие опорного вкладыша по плоскости примыкания опорного раскоса

$$\sigma_{см\alpha} = \frac{N_c}{A_{см}} \leq R_{см\alpha} m_b \quad (20)$$

$$A_{см} = b_{pl} h_{pl} = 12,5 \cdot 10 = 125 \text{ см}^2$$

$$\sigma_{см\alpha} = \frac{10170}{125} = 77,36 \text{ кг/см}^2 < 57,85 \cdot 1 = 78,21 \text{ кг/см}^2$$

Проверка прошла успешно.

2. Определение диаметра тяжа

$$A_{нт} \geq \frac{N_p}{4R_{bt}\gamma_c} \geq \frac{10170}{4 \cdot 1700 \cdot 1} = 1,5 \text{ см}^2 \quad (21)$$

$$d=18 \text{ мм}, A_{нт} = 1,708 \text{ см}^2$$

3. Расчет швеллера

$$h > h_{нп} + 2 d_t + 2 \text{ см} + 2 t_h = 20 + 2 \cdot 1,8 + 2 + 2 \cdot 1,8 = 29,2 \text{ см}$$

$$\text{Принимаем } I_{30} W_y = 43,6 \text{ см}^3$$

$$M_{\max} = N_T \left(a + \frac{b_{НП}}{2} \right) = 1770 \cdot \left(9 + \frac{15}{2} \right) = 29205 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

$$\sigma_{и} = \frac{29205}{43,6} = 670 \text{ кг/см}^2 \leq 2100 \text{ кг/см}^2$$

Проверка прошла успешно.

4. Расчет накладок

Проверка накладок на смятие

$$\sigma = \frac{N}{2A_{см}} \leq R_{см} m_B \quad (22)$$

$$A_{см} = a \cdot h_{НП} = 9 \cdot 12,5 = 112,5 \text{ см}^2$$

$$\sigma = \frac{7080}{2 \cdot 112,5} = 31,5 \text{ кг/см}^2 < R_{см} m_B = 140 \text{ кг/см}^2 \quad 15/21$$

5. Расчет нагельного соединения

$$n_H = \frac{N_p}{2T_{\text{MIN}}} \quad (23)$$

$$d_{\text{наг}} < \frac{h_{\text{НП}}}{9,5} = \frac{200}{9,5} = 21,05 \text{ мм}$$

$d_{\text{наг}} = 15 \text{ мм}$ и проверим его

Толщина накладок: $a = 6 \cdot d_{\text{наг}} = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ см}$.

Расчетная несущая способность стального нагеля на один шов сплачивания:

При смятии в средних элементах:

$$T_c = 50 \cdot c \cdot d_H = 50 \cdot 12,5 \cdot 1,5 = 937,5 \text{ кг}, (c = b_{\text{НП}} = 12,5 \text{ см}).$$

При смятии в крайних элементах:

$$T_a = 80 \cdot a \cdot d_H = 80 \cdot 9 \cdot 1,5 = 1080 \text{ кг}$$

При изгибе нагеля:

$$T_{\text{и}} = 180 \cdot d_H^2 + 2a^2 = 180 \cdot 1,5^2 + 2 \cdot 9^2 = 567 \text{ кг},$$

$$\text{но не более } T_{\text{и}} = 250d_H^2 = 250 \cdot 1,5^2 = 562,5 \text{ кг}$$

$$n_H = \frac{10170}{2 \cdot 562,5} = 9,04 \text{ шт.}$$

Принимаем количество нагелей **10** штук, $d = 15 \text{ мм}$

6. Расчет уголков

$$M_{\text{max}} = N_T \left(e + \frac{h_{\text{НП}}}{4} \right) = 1770 \cdot \left(1,9 + \frac{20}{4} \right) = 30510 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (24)$$

$$e = \frac{d_t}{2} + 1 = \frac{1,8}{2} + 1 = 1,9 \text{ см}$$

$$W_{\text{треб}} = \frac{M_{\text{max}}}{R_y} = \frac{30510}{2100} = 14,53 \text{ см}^3$$

По сортаменту подбираем равнобокий уголок
100x100x8

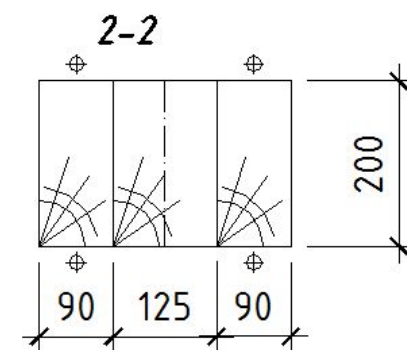
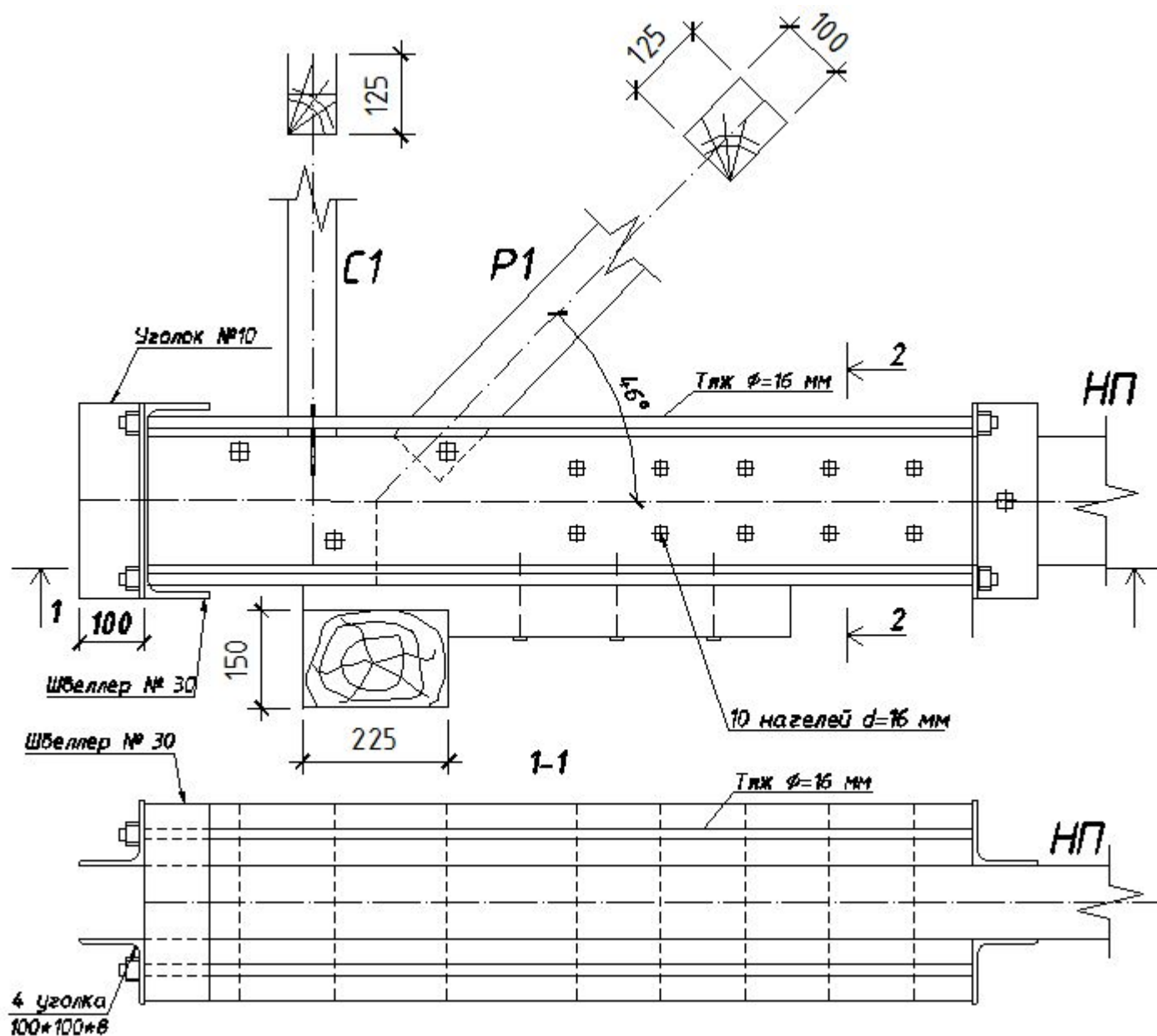
7. Определение размеров подферменного бруса

$$N_{\text{опор}} = 4(G + P) = 4(1167 + 922) = 8356 \text{ кг}$$

$$A_{\text{опор}} = \frac{N_{\text{опор}}}{R_{\text{см}} m_b} = \frac{8356}{30 \cdot 1} = 278,6 \text{ см}^2$$

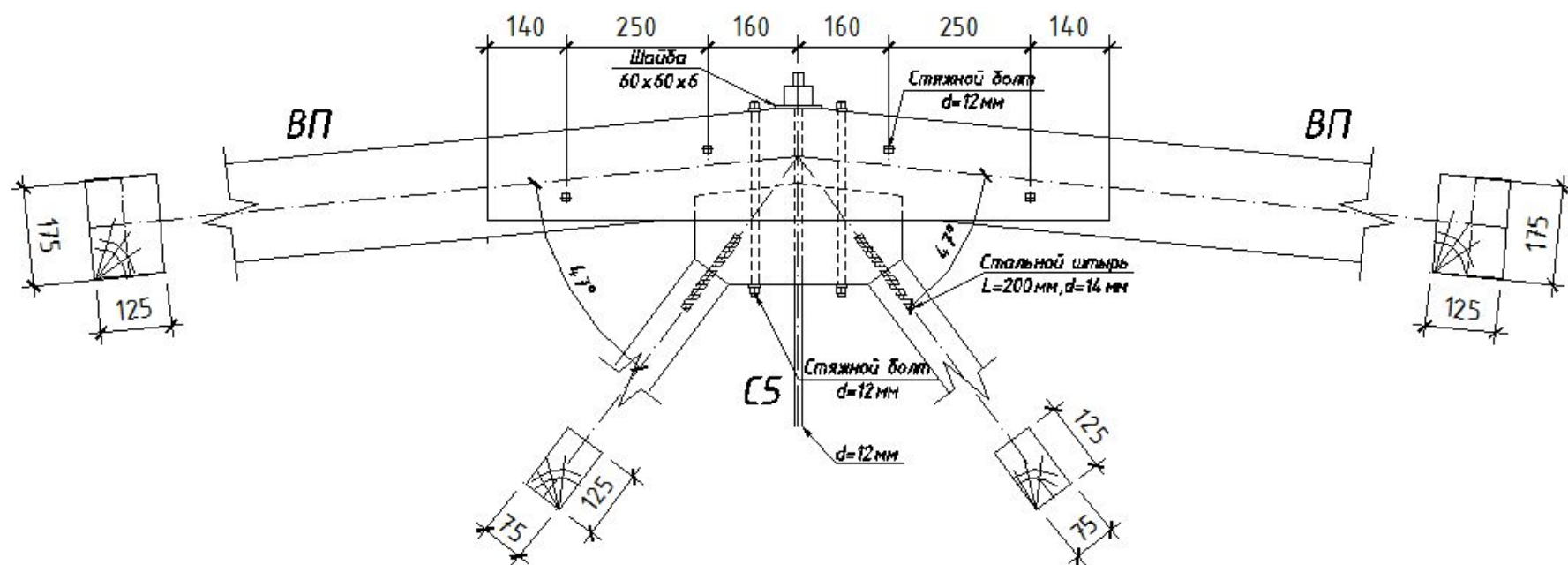
$$b = \frac{A_{\text{опор}}}{b_{\text{НП}}} = \frac{278,6}{12,5} = 22,3 \text{ см}$$

$$h \times b = 150 \times 225 \text{ мм}$$



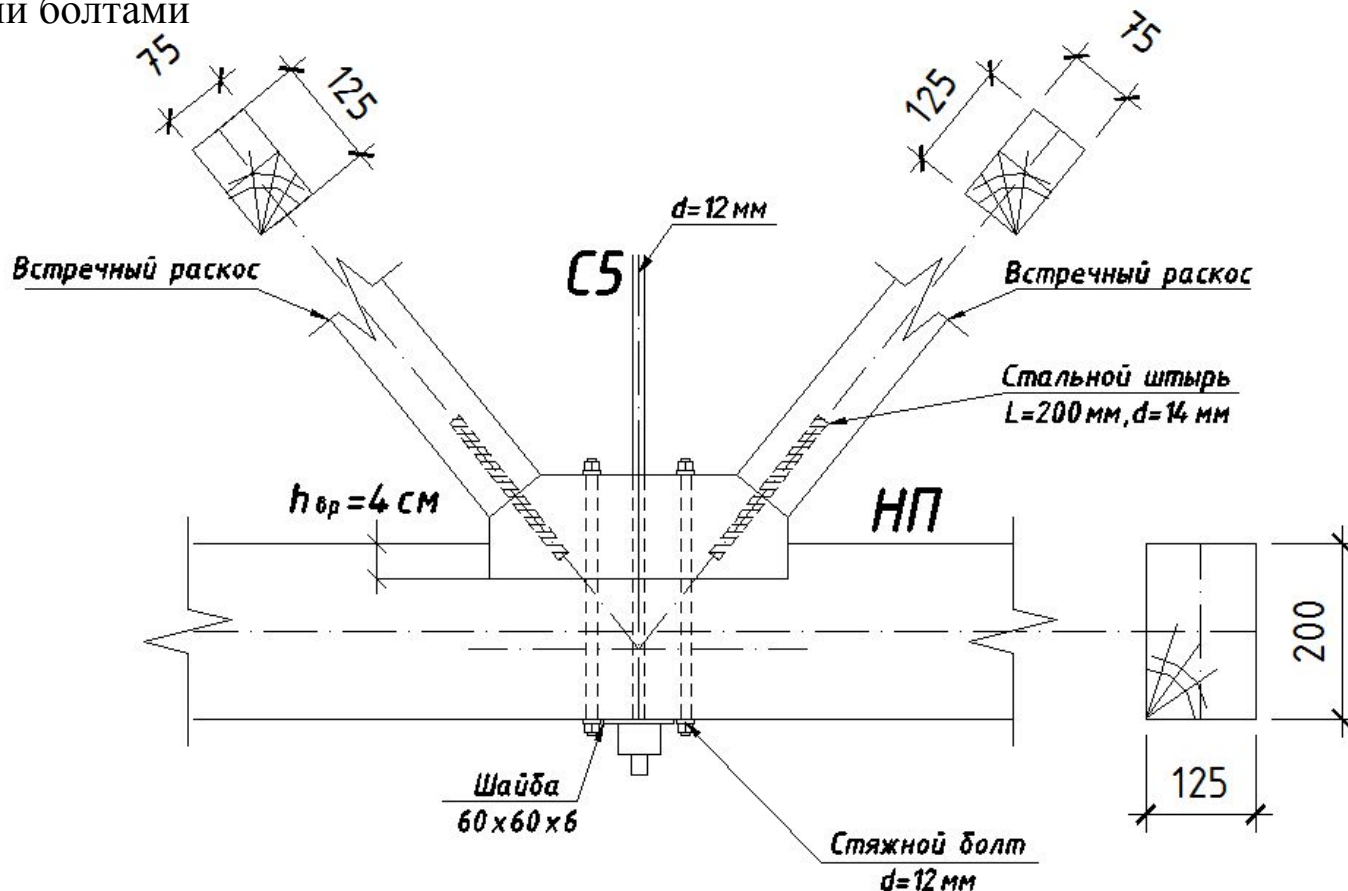
Верхний центральный узел фермы

Этот узел является конструктивным и называется коньковым узлом. Выполняется он непосредственно торцевым упором элементов верхнего пояса друг в друга с небольшой подрезкой их сверху для образования горизонтальной площадки под шайбу тяжа. Диаметр стяжных болтов для скрепления элементов 12 мм



Нижний центральный узел фермы

Этот узел является конструктивным. Сжатые встречные раскосы упираются в подушку, плотно врезанную в нижний пояс на глубину не менее 2 см. Раскосы удерживаются от смещения штырями из круглой стали, вставляемыми в просверленные для этой цели отверстия в торцах раскосов и в подушке. Подушку скрепляют с нижним поясом двумя стяжными болтами



Стыкующие накладки поясов

Нижний пояс работает на растяжение.

Конструкция стыка – симметричное нагельное соединение.

$$d_{\text{наг}} < \frac{h_{\text{НП}}}{9,5} = \frac{200}{9,5} = 21,05 \text{ мм}$$

проверим $d_{\text{наг}} = 20 \text{ мм}$

Толщина накладок: $a = 6 \cdot d_{\text{наг}} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ см}$.

$T_c = 50 \cdot c \cdot d_n = 50 \cdot 12,5 \cdot 2 = 1250 \text{ кг}$, ($c = b_{\text{НП}} = 12,5 \text{ см}$)

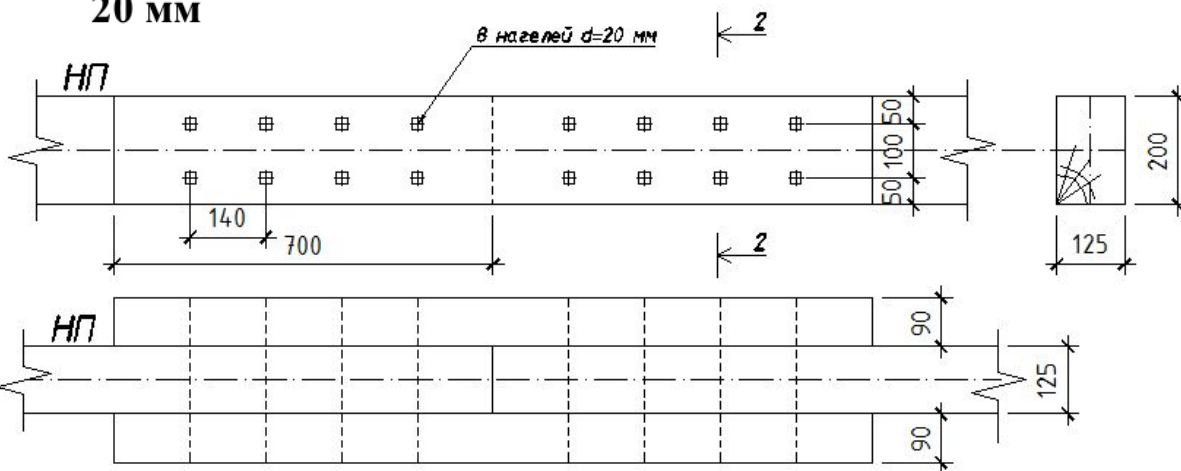
$T_a = 80 \cdot a \cdot d_n = 80 \cdot 12 \cdot 2 = 1920 \text{ кг}$,

$T_{\text{и}} = 180 \cdot d_n^2 + 2a^2 = 180 \cdot 2^2 + 2 \cdot 12^2 = 720 + 288 = 1008 \text{ кг}$,
но не более $T_{\text{и}} = 250 d_n^2 = 250 \cdot 2^2 = 1000 \text{ кг}$.

$$n_{\text{н}} = \frac{N_p}{2T_{\text{MIN}}} = \frac{12700}{2 \cdot 1000} = 6,35$$

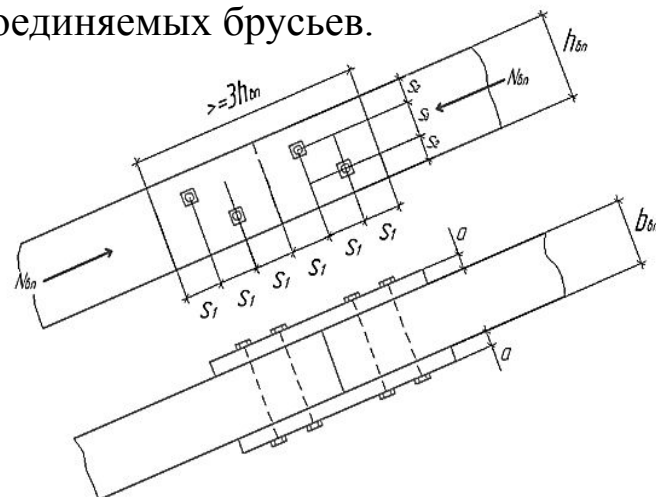
где $N_p = N_{\text{НЗ}} = 12700 \text{ кг}$ – усилие в НП НЗ

Принимаю количество нагелей **8** штук, диаметром **20 мм**



Верхний пояс работает на сжатие. Конструкция стыка – лобовой упор.

Стык элементов верхнего пояса не нуждается в дополнительных расчетах и выполняется конструктивно. Для предотвращения смещения сопрягаемых элементов из плоскости системы с двух сторон стыка ставят накладки, соединенные с элементами стяжными болтами $d = 12-16 \text{ мм}$, в количестве не менее двух болтов с каждой стороны стыка. Длину накладок принимают не менее трех высот соединяемых брусьев. Толщину накладки принимают не менее одной трети от толщины соединяемых брусьев.



Спасибо за внимание!