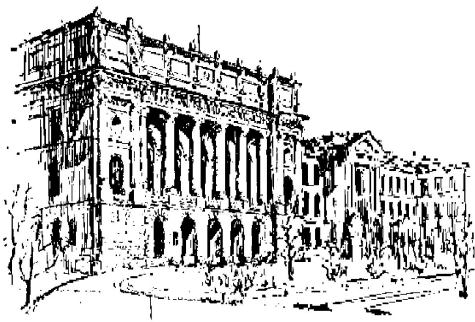


Санкт-Петербургский Политехнический Университет
Петра Великого
Инженерно-строительный институт
Кафедра «Строительная механика и строительные конструкции»



Курсовой проект

Дисциплина: Конструкции из дерева и пластмасс
Каркас одноэтажного промышленного здания

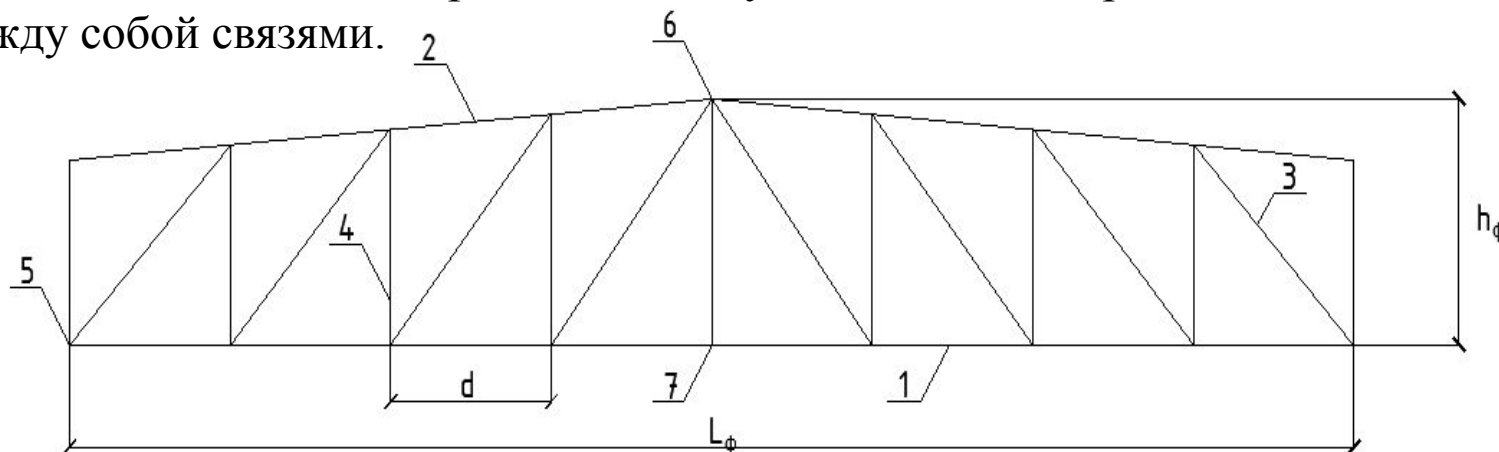
- Выполнила: Логинова И.И. 43102/1
- Руководитель: профессор Кононова М.Ю.

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

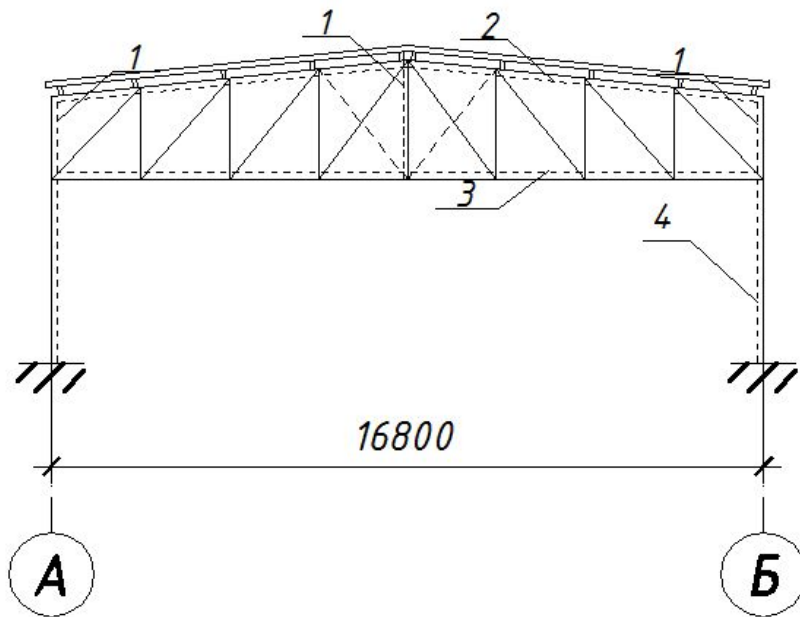
В проекте рассмотрена равнопанельная ферма с шагом $d = 2,1$ м.

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;

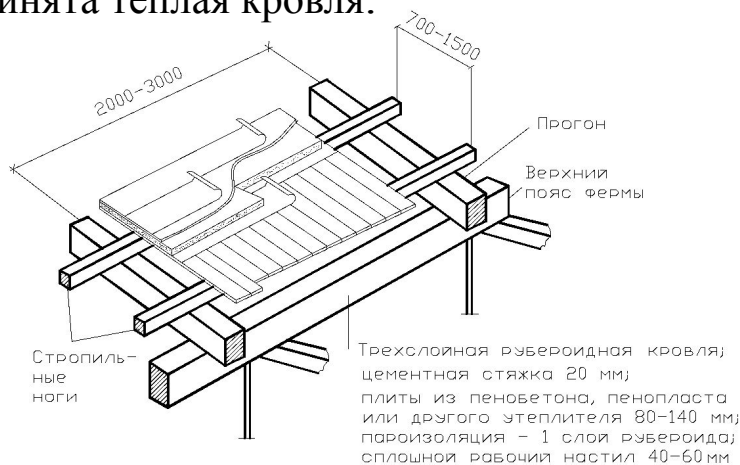
5-горизонтальная обвязка каркаса балками

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

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:

$$W_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{max}}}{R_{\text{и}}} = \frac{52500}{130} = 404 \text{ см}^3$$

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:

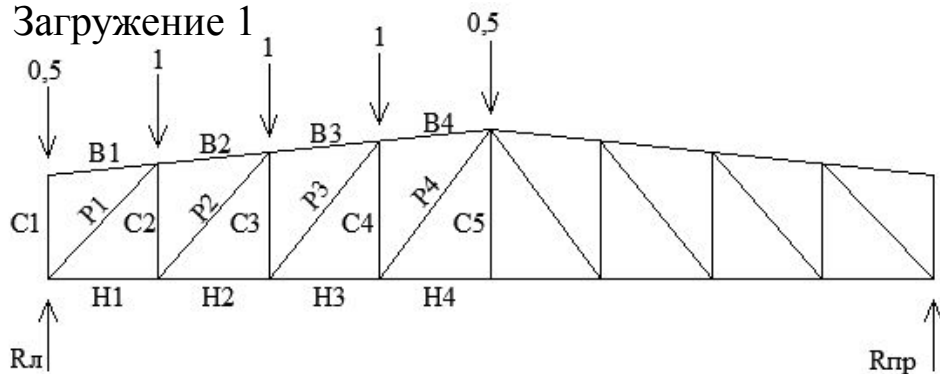
$$P = p_{сн} \cdot a \cdot \frac{d}{\cos \alpha}$$
$$P = 117,6 \cdot 3,66 \cdot \frac{2,1}{1} = 922,32 \text{ кг}$$

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

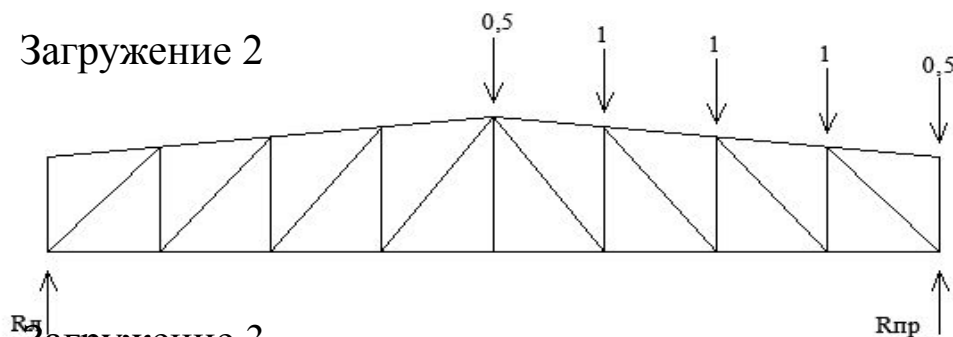
Определение усилий в стержнях фермы

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

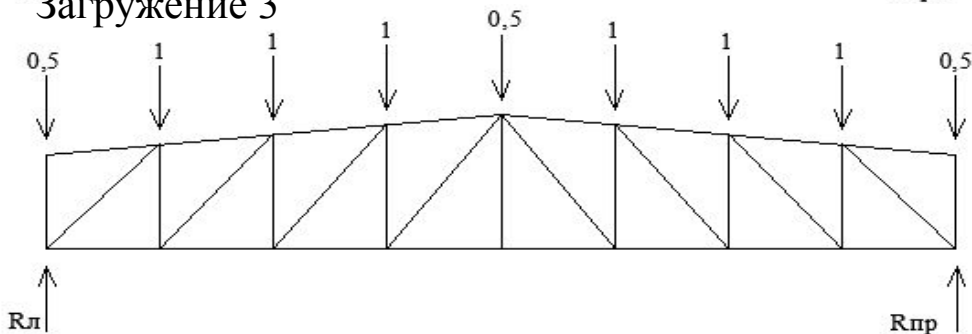
Загрузка 1



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

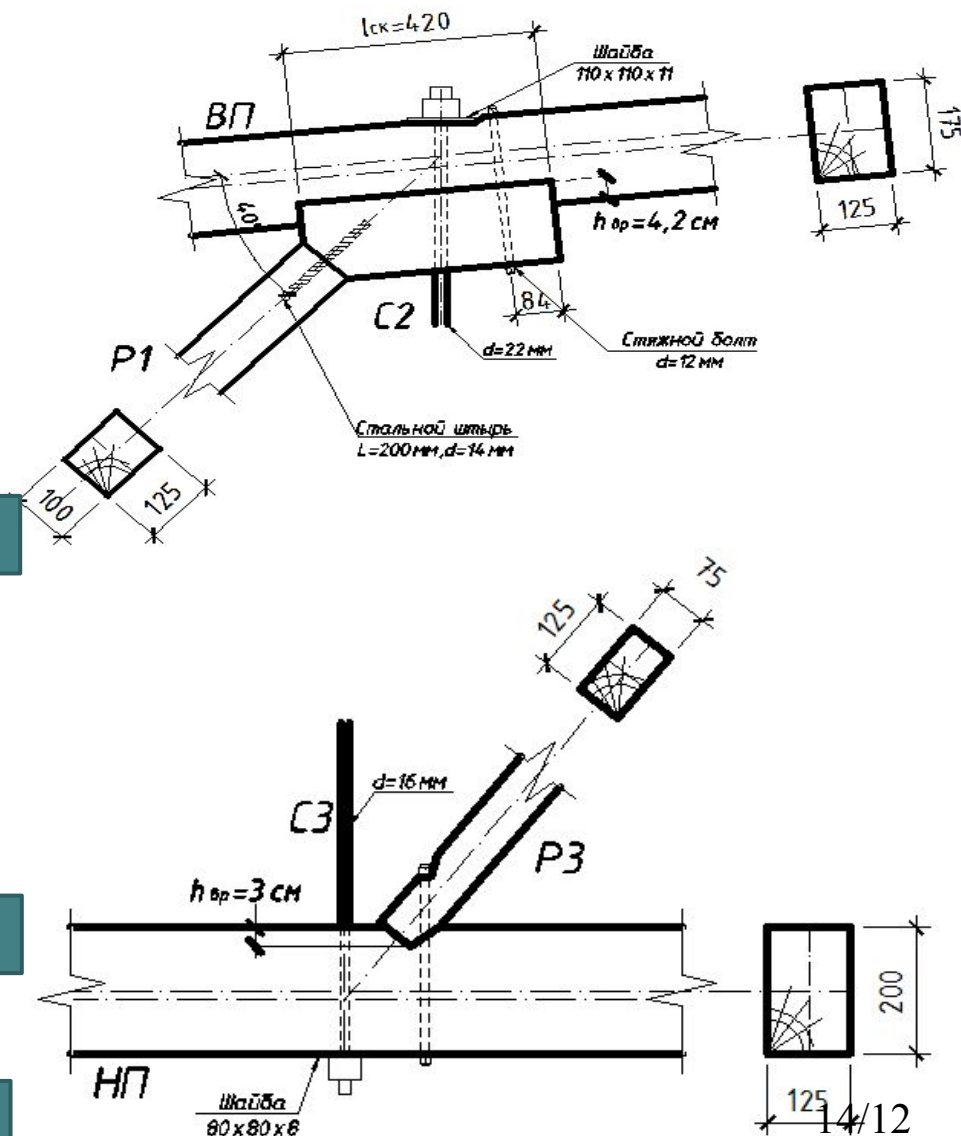
$$l_{ск} = 30 \text{ см}$$

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

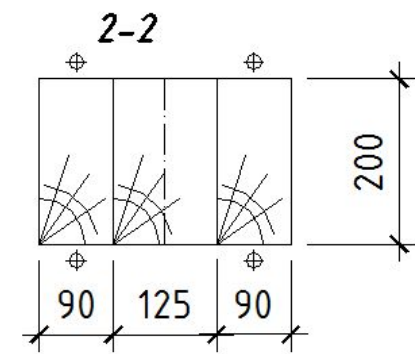
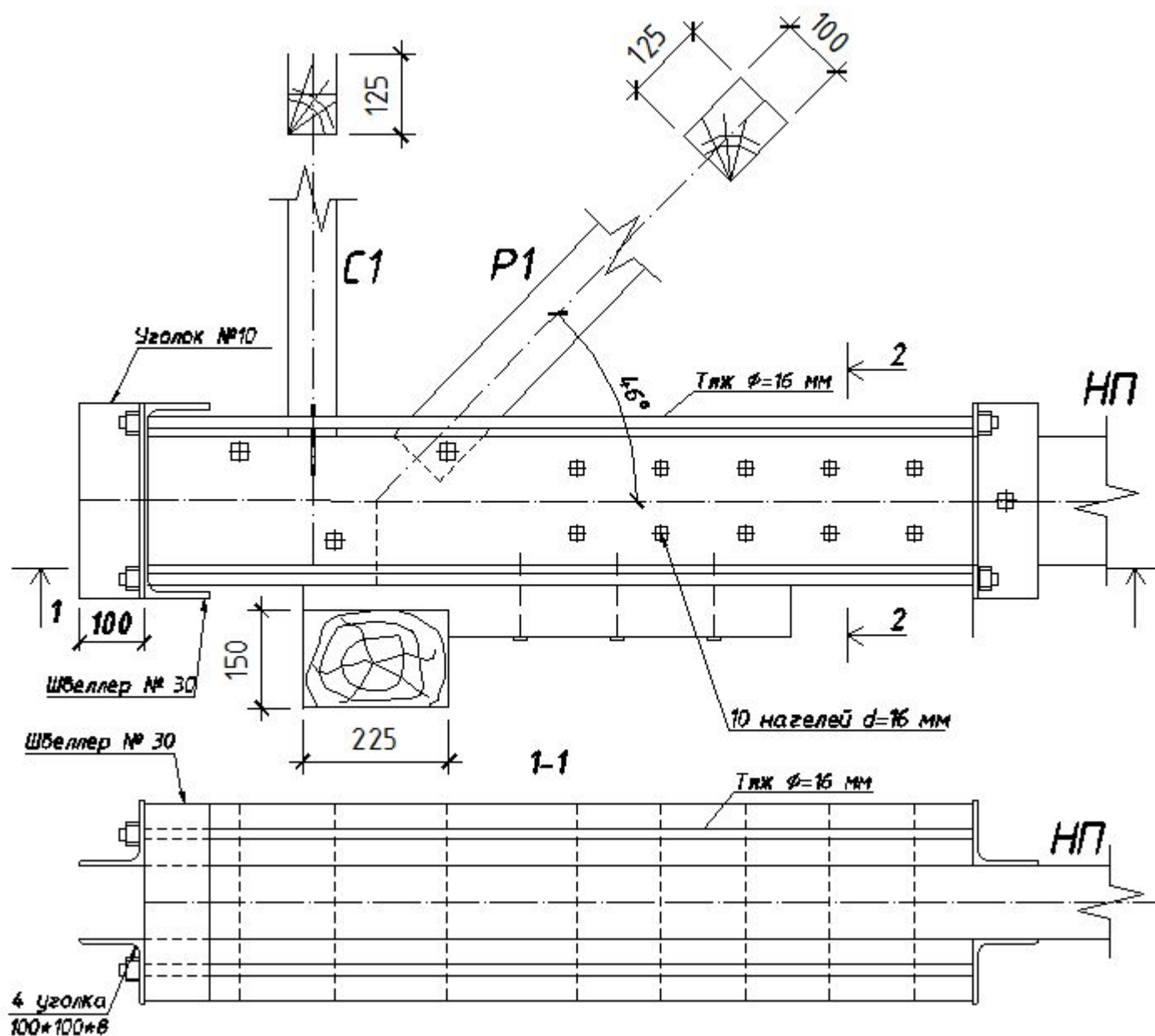
7. Определение размеров подферменного бруса

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

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

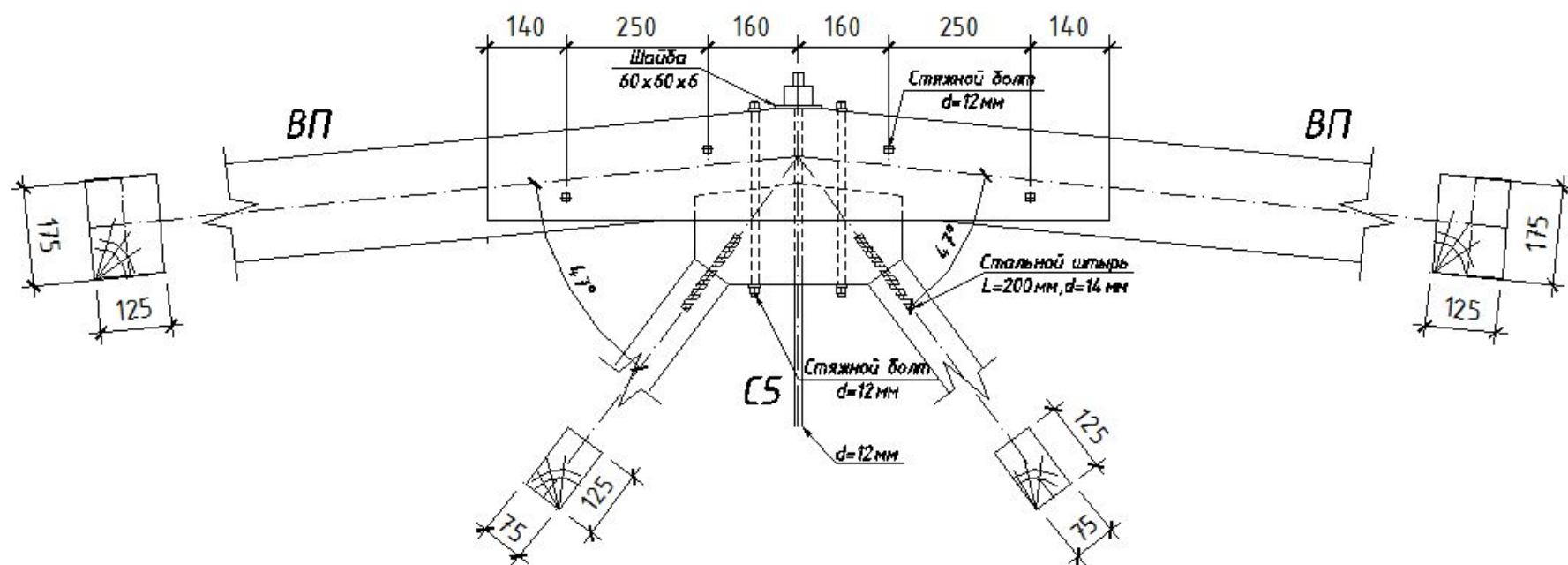
$$b = \frac{A_{\text{опор}}}{b_{\text{НП}}} = \frac{278,6}{12,5} = 22,3 \text{ см}$$

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



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





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

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

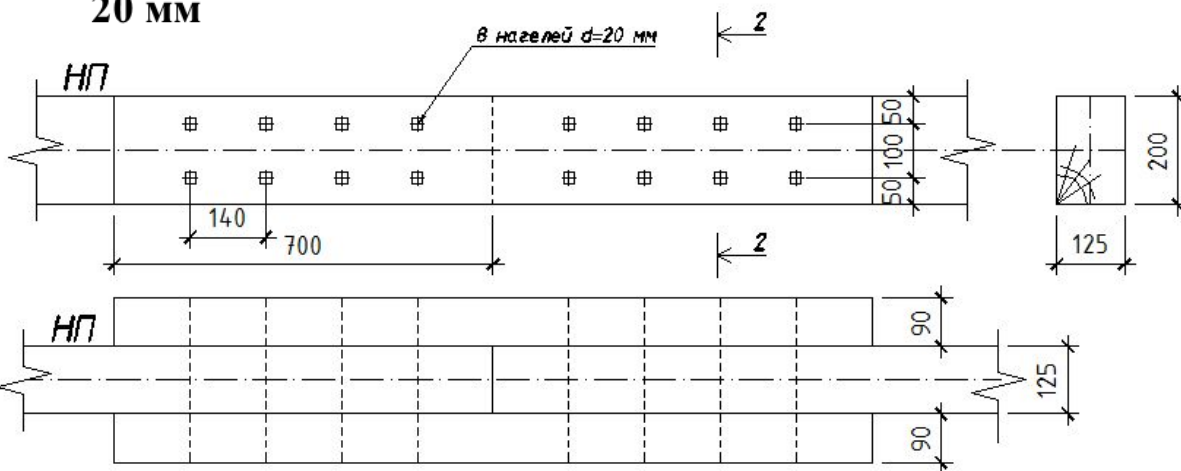
$T_a = 80 \cdot a \cdot d_n = 80 \cdot 12 \cdot 2 = 1920 \text{ кг}$,

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

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

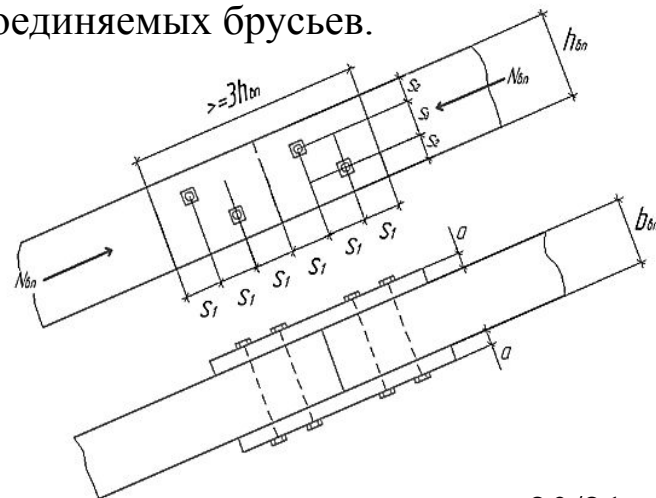
где $N_p = N_{\text{НЗ}} = 12700 \text{ кг}$ – усилие в НП НЗ

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!