Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

# Конструкции из дерева и пластмасс

2017 год

# Практическое занятие 1 (РГР 1)

## Расчет элементов конструкций цельного сечения

## Литература

Шишкин В.Е. Примеры расчета конструкций из дерева и пластмасс (1974).
Гринь И.М. Проектирование и расчет деревянных конструкций. Справочник (1988).
Гринь И.М. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов (1990).
Зубарев Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс (1980).
Зубарев Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс (2004).
Иванов В.А. Деревянные конструкции. Примеры расчета и конструирования (1960).
Иванов В.А. Конструкции из дерева и пластмасс (1983).
Иванов В.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Примеры расчета и конструирования (1981).
Иванов В.Ф. Деревянные конструкции (1956).

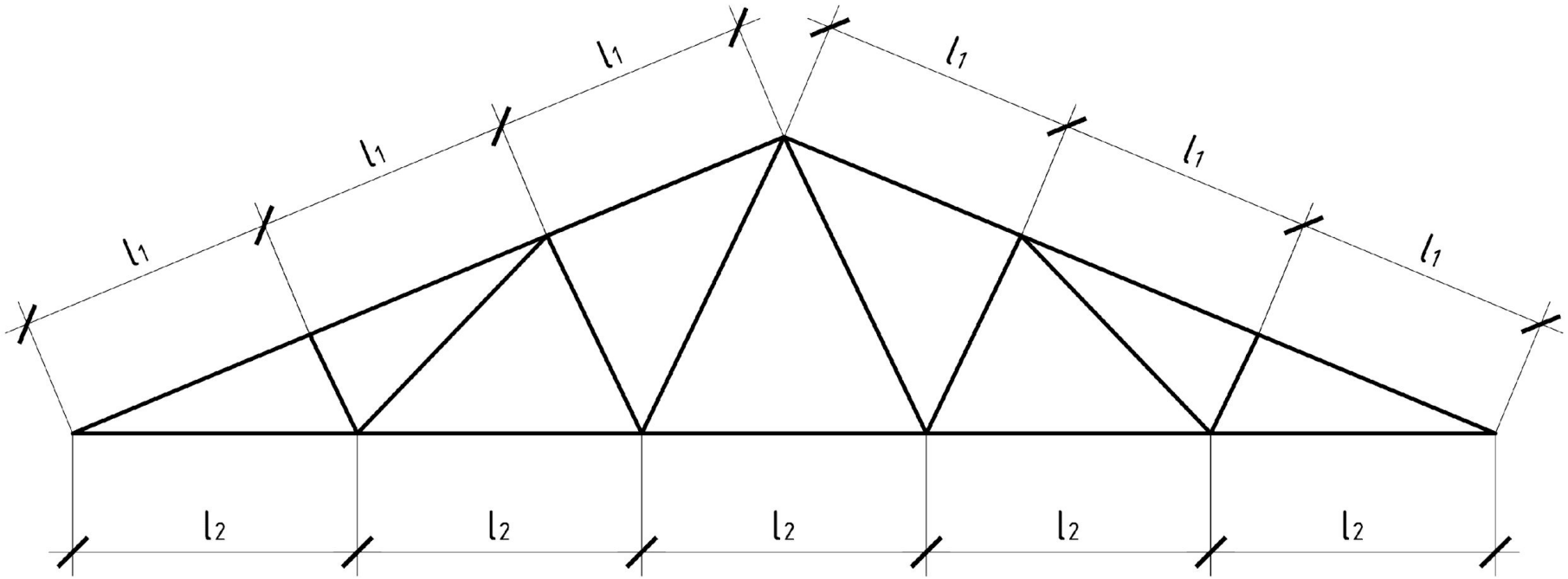
1 Компоновка фермы

Пояса фермы следует разделить решеткой на элементы одинаковой длины.

Элементы верхнего пояса $l_1$=1,5...5,0 м.

Элементы нижнего пояса $l_2$=1,5...5,0 м.

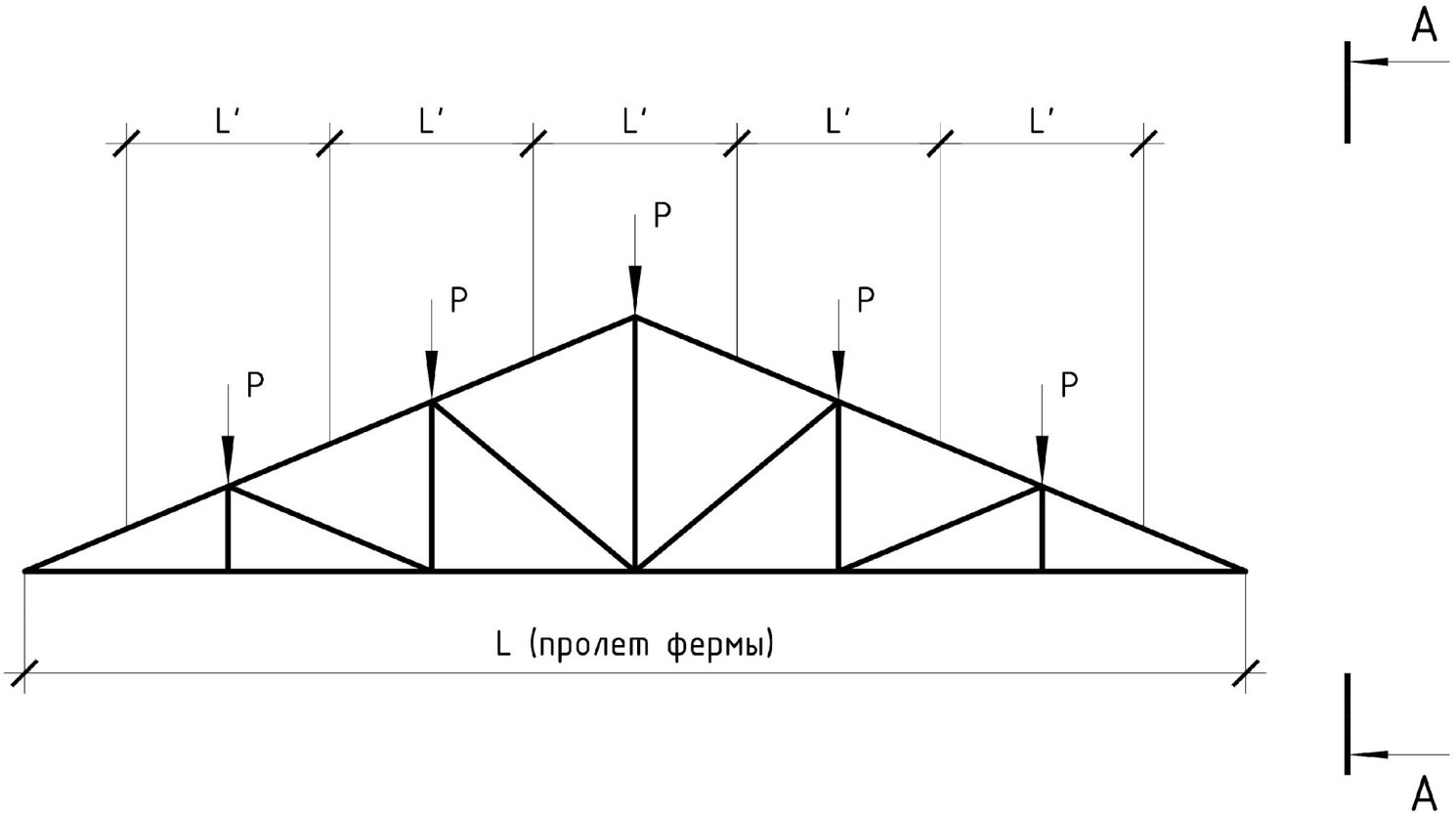
Элементы решетки могут иметь различную длину в пределах от 1,5...5,0 м (или более).


l1
l1
l1
l1
l1
l1
l2
l2
l2
l2
l2

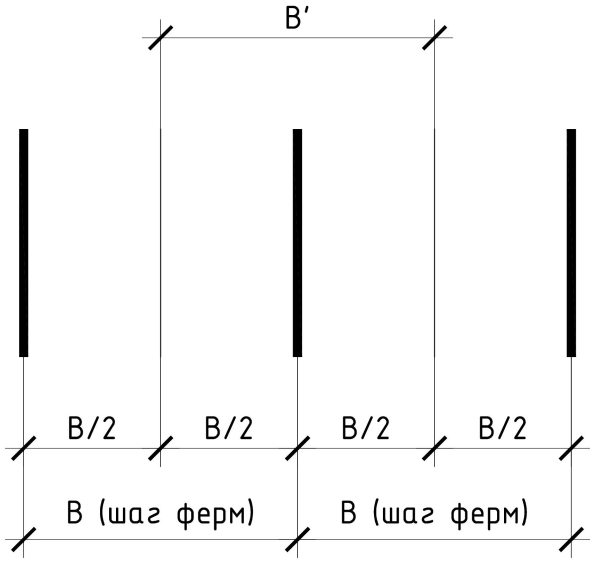
## 2 Определение действующих на ферму нагрузок

### 2.1 Грузовая площадь одного узла

$$A_{гр} = L' \cdot B'$$


A
L′
L′
L′
L′
L′
P
P
P
P
P
L (пролет фермы)
A

# А - А



2.2 Нагрузки на ферму

Постоянная нагрузка (собственный вес, вес кровли) – $g$, кН/м$^2$.

Снеговая нагрузка – $S$, кН/м$^2$ (определяемая по СП 20.13330.2016).

2.3 Нагрузка на узел

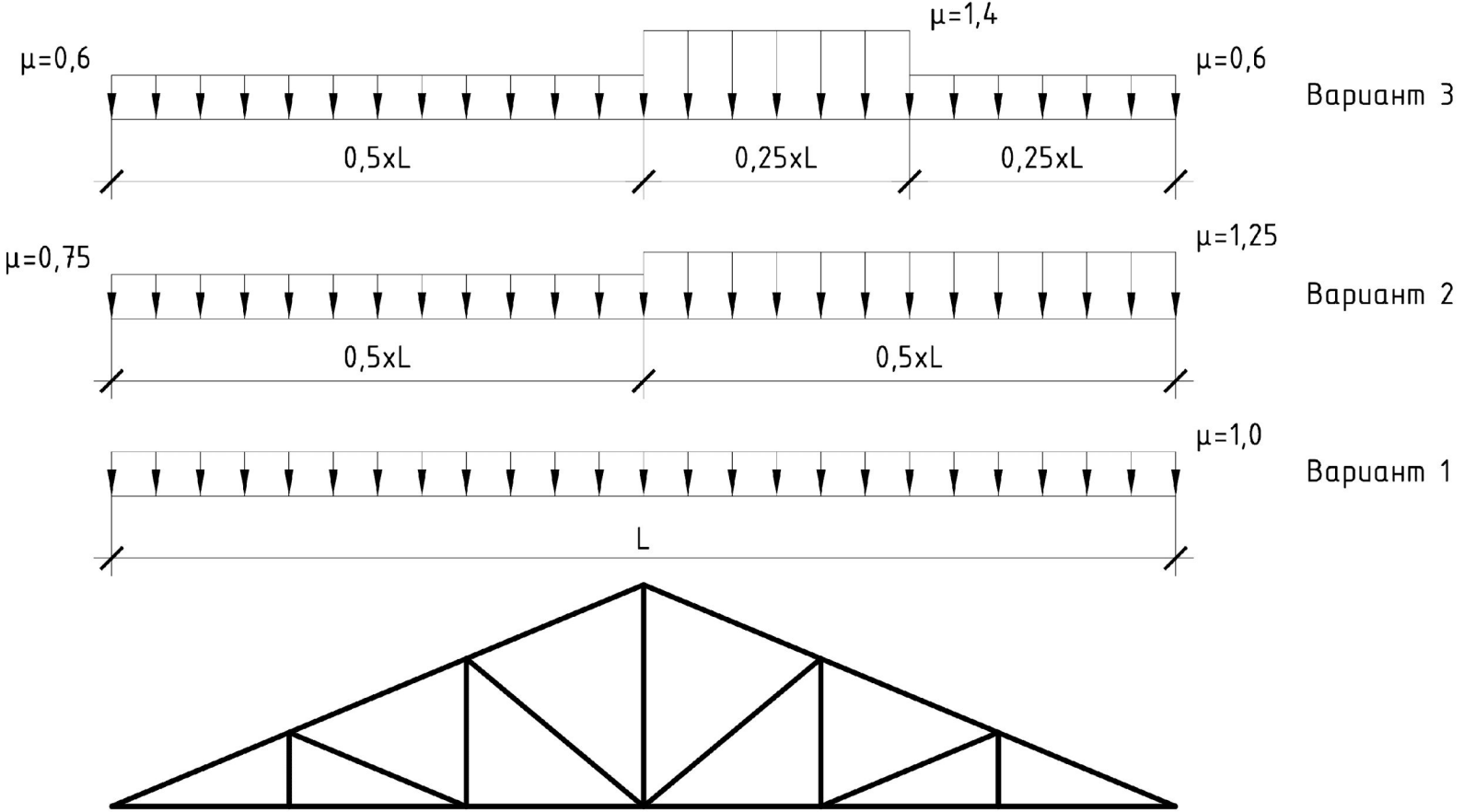
$$P_{пост} = g \cdot A_{гр}$$

$$P_{снег} = S \cdot A_{гр}$$

2.4 Расчетное сочетание нагрузок

$$P = P_{пост} + P_{снег} \cdot \psi_{t1}$$

$\psi_{t1}$ – коэффициент сочетаний, соответствующий основной по степени влияния кратковременной нагрузке, принимаемый по СП 20.13330.2016, $\psi_{t1} = 1{,}0$.


μ=1,4
μ=0,6
μ=0,6
Вариант 3
0,5xL
0,25xL
0,25xL
μ=0,75
μ=1,25
Вариант 2
0,5xL
0,5xL
μ=1,0
Вариант 1
L

Определение ориентировочной площади сечений

$$F = \frac{N}{(0{,}6 \div 0{,}8) \cdot R}$$

$N$ – усилие в элементах;

$R$ – расчетное сопротивление на сжатие или растяжение материала элементов фермы.

По полученным площадям назначают размеры сечений поясов с учетом сортамента брусьев или бревен (ГОСТ 9463-2016 или ГОСТ 24454-80).

# 3 Расчет элементов фермы

## 3.1 Расчет верхнего пояса

Расчет верхнего пояса выполняется как для центрально-сжатого элемента.

Проверка прочности

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_c$$

Проверка устойчивости

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{рас}} \leq R_c$$

Расчетная длина элемента

$$l_{\text{o}} = l \cdot \mu_{\text{o}}$$

$l$ – расстояние между узлами элемента, закрепленными от смещения;

$\mu_{\text{o}}$ – при шарнирно-закрепленных концах $\mu_{\text{o}} = 1{,}0$.

Гибкость элементов цельного сечения

$$\lambda = \frac{l_{\text{o}}}{\text{r}}$$

$\text{r}$ – радиус инерции сечения элемента с максимальными размерами брутто относительно осей сечения $\text{x}$ и $\text{y}$.

Гибкость элемента не должна превышать предельную (п. 7.24 СП 64.13330.2017).

Коэффициент продольного изгиба φ:

– при гибкости элемента $\lambda \leq 70$

$$\varphi = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2$$

– при гибкости элемента $\lambda > 70$

$$\varphi = \frac{\mathrm{A}}{\lambda^2}$$

коэффициент $a = 0{,}8$ для древесины;

коэффициент $\mathrm{A} = 3000$ для древесины.

3.2 Расчет нижнего пояса

Расчет нижнего пояса выполняется как для центрально-растянутого элемента.

Проверка прочности

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_p$$

## 3.3 Расчет элементов решетки

Расчет элементов решетки выполняется как для центрально-сжатого или центрально-растянутого элемента.

Проверка прочности (при центральном-сжатии)

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_c$$

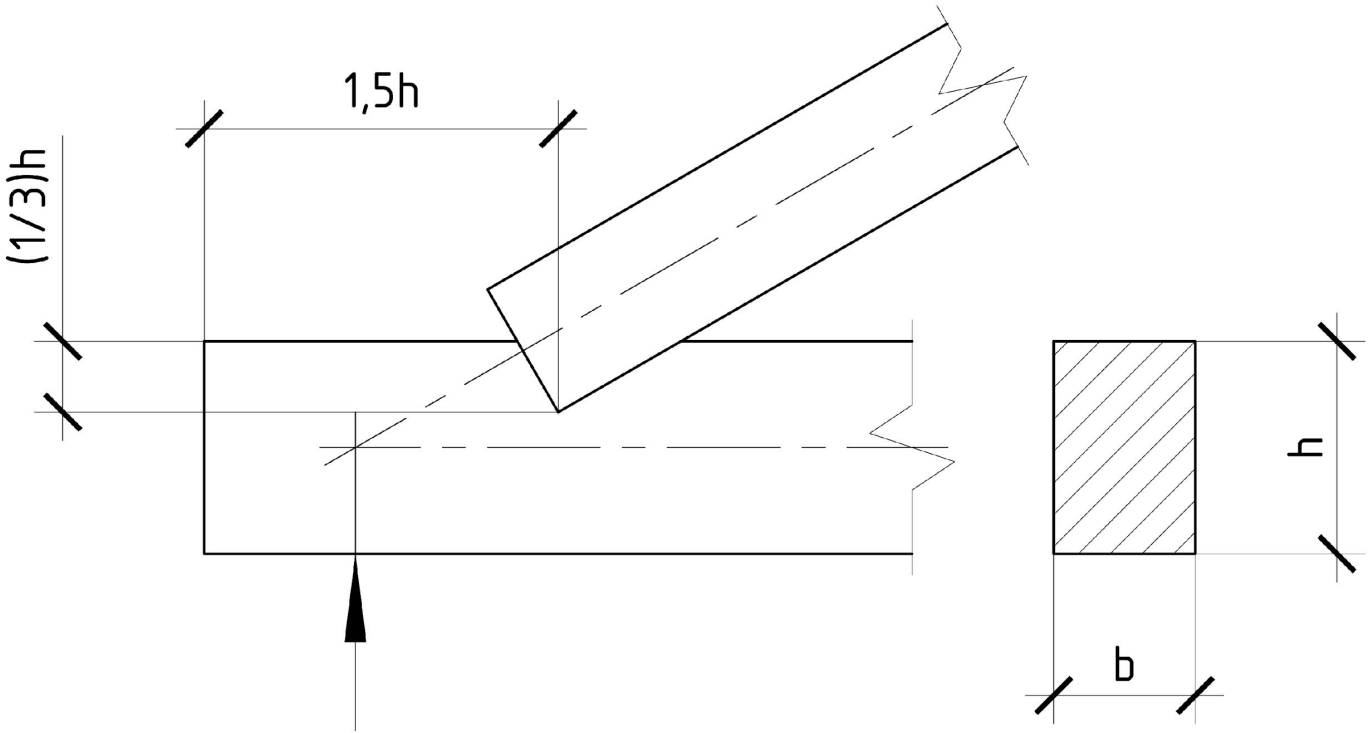
Проверка устойчивости (при центральном-сжатии)

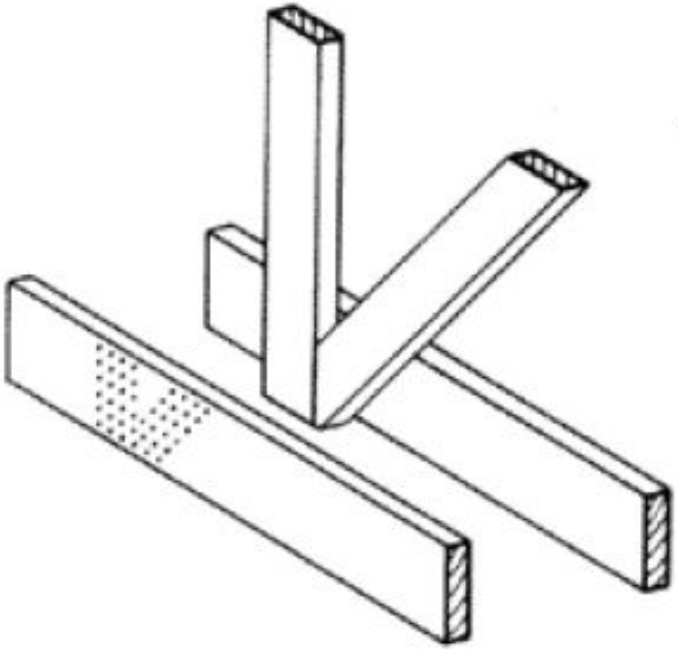
$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{рас}} \leq R_c$$

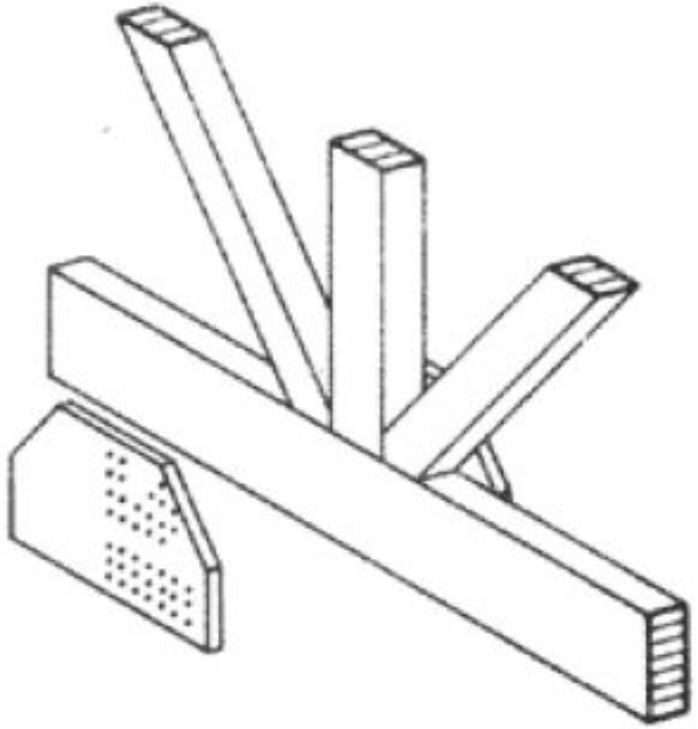
Проверка прочности (при центральном-растяжении)

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_p$$

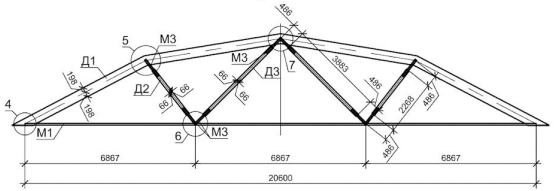
# 4 Расчет опорного узла


1,5h
(1/3)h
h
b

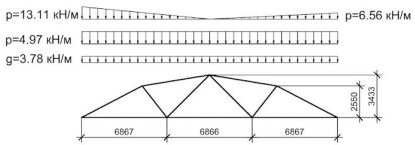




## Ферма ФС1




## Расчетная схема фермы ФС1



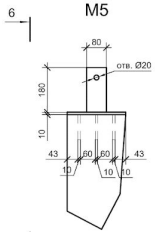

## Спецификация древесины

| Марка элемента | № детали | Кол-во, шт | | Сечение | Длина, мм | Вес, кг | | | Сорт древесины | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | т | н | | | одной детали, шт. | всех, шт. | эле-мента | | |
| ФС1 | Д1 | 1 | | 396x110 | 22094 | 482 | 482 | 550 | 2 | |
| | Д2 | 2 | | 132x110 | 2268 | 17 | 34 | | | |
| | Д3 | 2 | | 132x110 | 3883 | 17 | 34 | | | |

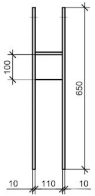
## Спецификация металла

| Марка элемента | № детали | Кол-во, шт | | Сечение | Длина, мм | Вес, кг | | | Марка стали | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | т | н | | | одной детали, шт. | всех, шт. | эле-мента | | |
| ФС1 | М1 | 3 | | ⌜⌝ 63x40x5 | 6867 | 54 | 162 | 336 | С245 | |
| | М2 | 3 | | — 100x10 | 640 | 5 | 15 | | | |
| | М3 | 8 | | — 80x10 | 846 | 6 | 48 | | | |
| | М4 | 2 | | — 160x20 | 330 | 9 | 18 | | | |
| | М5 | 2 | | сложное | | 27 | 54 | | | |
| | М6 | 2 | | — 100x10 | 300 | 3 | 6 | | | |
| | М7 | 24 | | Болт Ø20 | 200 | 1 | 18 | | | |
| | М8 | 12 | | Болт Ø20 | 200 | 1 | 9 | | | |
| | М9 | 5 | | Болт Ø20 | 200 | 1 | 4 | | | |
| | М10 | 2 | | Болт Ø20 | 200 | 1 | 2 | | | |

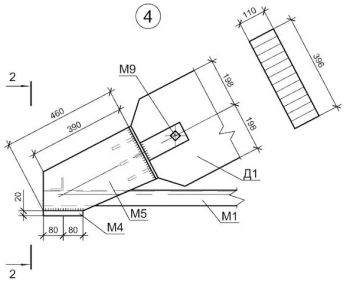
## М5



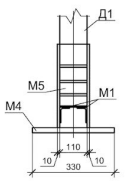

## 6-6



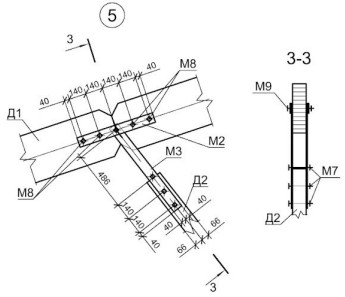

## 4




## 2-2



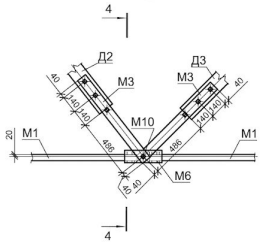

## 5



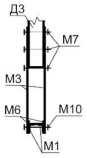

## 3-3



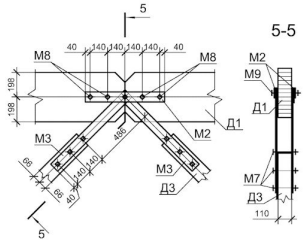

## 6




## 4-4




## 7




## 5-5



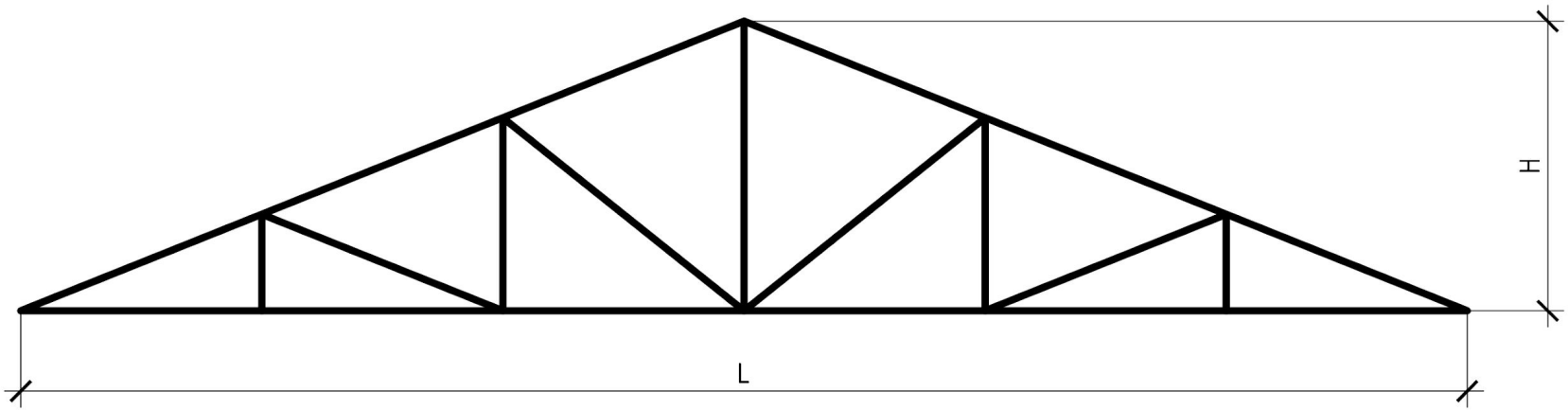

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Изм. | Кол. уч. | Лист | № док. | Подп. | Дата | Одноэтажное деревянное здание | |
| Нач. отд. | | | | | | Одноэтажное деревянное здание в г. Тула | Стадия: У; Лист: 2; Листов: 3 |
| Н. контр. | | | | | | Ферма ФС1. Расчетная схема фермы ФС1. Узлы 4, 5, 6, 7. Разрезы 2-2, 3-3, 4-4, 5-5. Деталь М5. Разрез 6-6 | ФГАОУ ВПО УрФУ Кафедра "Строительные конструкции" |
| Проверил | | | | | | | |
| Разработал | | | | | | | |

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

Формат А2

# Пример расчета фермы

| № задания | ФИО студента | Схема фермы | Пролет фермы, L, м | Шаг ферм, м | Снеговой район | Класс условий эксплуата-ции | Норм. нагрузка от веса кровли, $g^n$, кН/м$^2$ ($\gamma_f$ = 1,2) | Древесная порода | Срок службы, лет |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | А | 18 | 4 | III | 2 | 0,6 | пихта | 50 |



1 Компоновка фермы

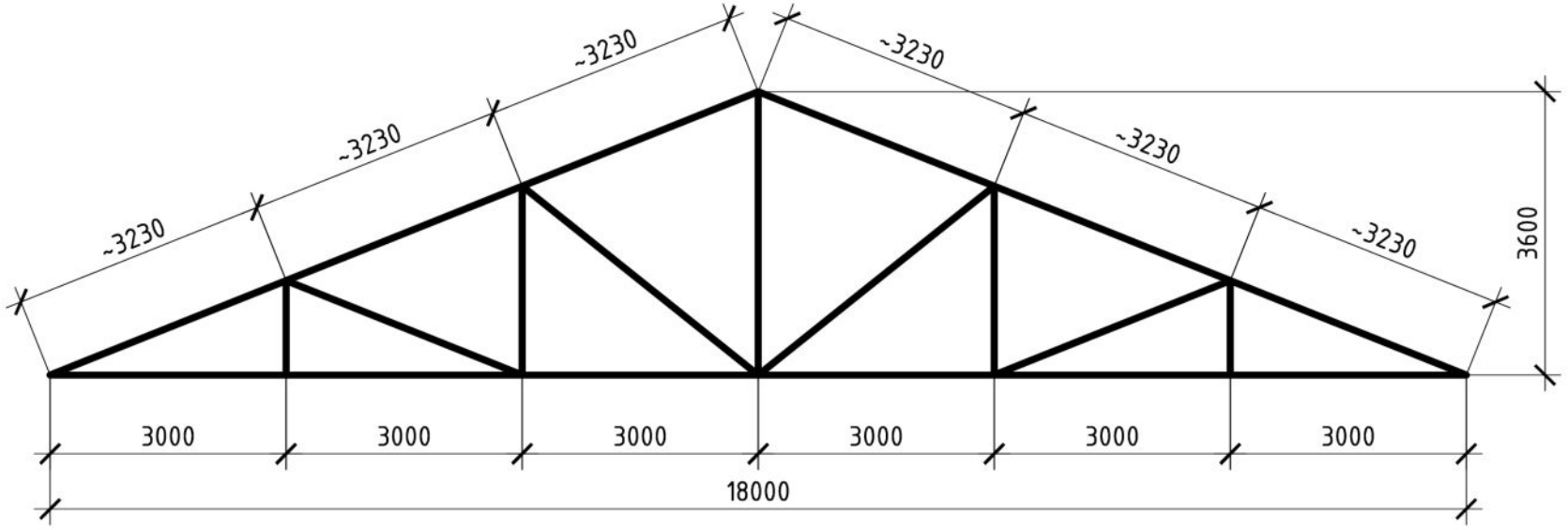
Пролет фермы $\mathrm{L} = 18$ м. Высота фермы $\mathrm{H} = (1/5) \cdot \mathrm{L} = (1/5) \cdot 18 = 3{,}6$ м.

Пояса фермы разделяем решеткой на элементы одинаковой длины.

Элементы верхнего пояса $l_1$=1,5...5,0 м.

Элементы нижнего пояса $l_2$=1,5...5,0 м.

Элементы решетки могут иметь различную длину в пределах от 1,5...5,0 м (или более).


~3230
~3230
~3230
~3230
~3230
~3230
3600
3000
3000
3000
3000
3000
3000
18000

# 2 Определение действующих на ферму нагрузок

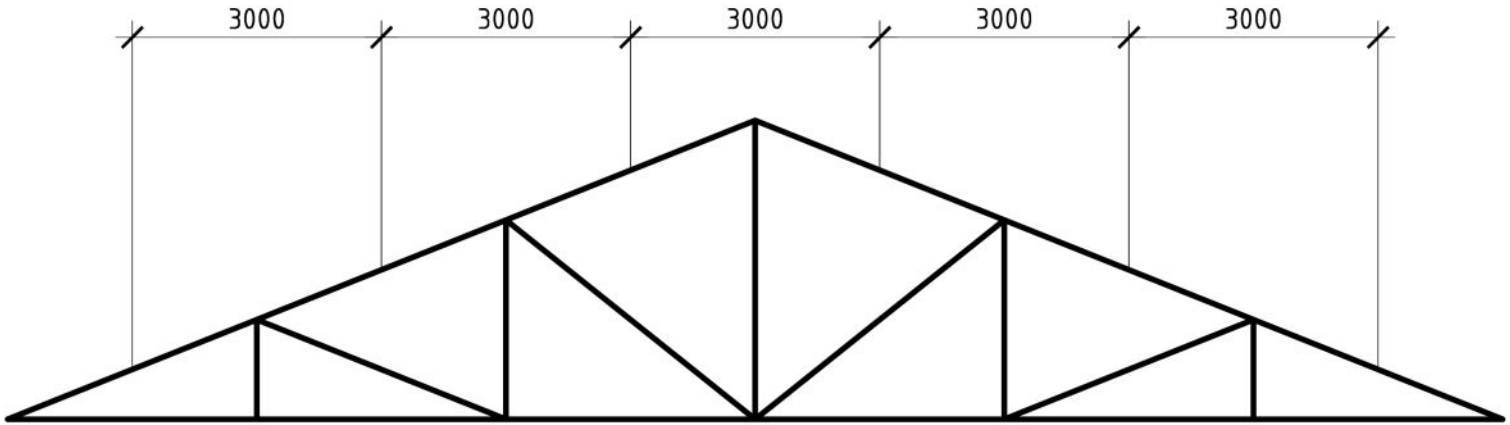
## 2.1 Грузовая площадь одного узла

Длина грузовой площади равна половине расстояния между смежными узлами с каждой стороны от узла (расстоянию между узлами) $\mathrm{L}' = 3{,}0$ м.

Ширина грузовой равна половине расстояния между смежными фермами с каждой стороны от фермы (шагу ферм) $\mathrm{B}' = 4{,}0$ м.

Грузовая площадь одного узла

$$\mathrm{A}_{\mathrm{гр}} = \mathrm{L}' \cdot \mathrm{B}' = 3{,}0 \cdot 4{,}0 = 12{,}0 \text{ м}$$


3000
3000
3000
3000
3000

## 2.2 Нагрузки на ферму

Постоянная нагрузка (g) включает в себя собственный вес фермы и вес кровли.

Вес кровли по заданию $g^n = 0{,}6\ кН/м^2$ . Усредненный коэффициент надежности по нагрузке для веса кровли $\gamma_f = 1{,}2$.

Расчетная нагрузка от веса кровли

$$g = g^n \cdot \gamma_f = 0{,}6 \cdot 1{,}2 = 0{,}72\ кН/м^2.$$

Для определения собственного веса фермы предварительно назначим жесткость фермы. Примем сечение элементов фермы 200×200 мм (ГОСТ 24454-80) и модуль упругости 10 ГПа.

Плотность древесины по таблице Г.1 СП 64.13330.2017 составит $\rho = 500\ кг/м^3$.

Собственный вес фермы учтем в программном комплексе автоматически или приложим его в качестве внешней нагрузки к элементам фермы (умножив площадь сечения элементов фермы на их плотность). Коэффициент надежности по нагрузке для собственного веса древесины $\gamma_f = 1{,}1$ (СП 20.13330.2016).

Снеговую нагрузку ($S$) определим по СП 20.13330.2016.

Нормативное значение снеговой нагрузки

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g.$$

Принимаем коэффициенты $c_e = 1{,}0$ и $c_t = 1{,}0$.

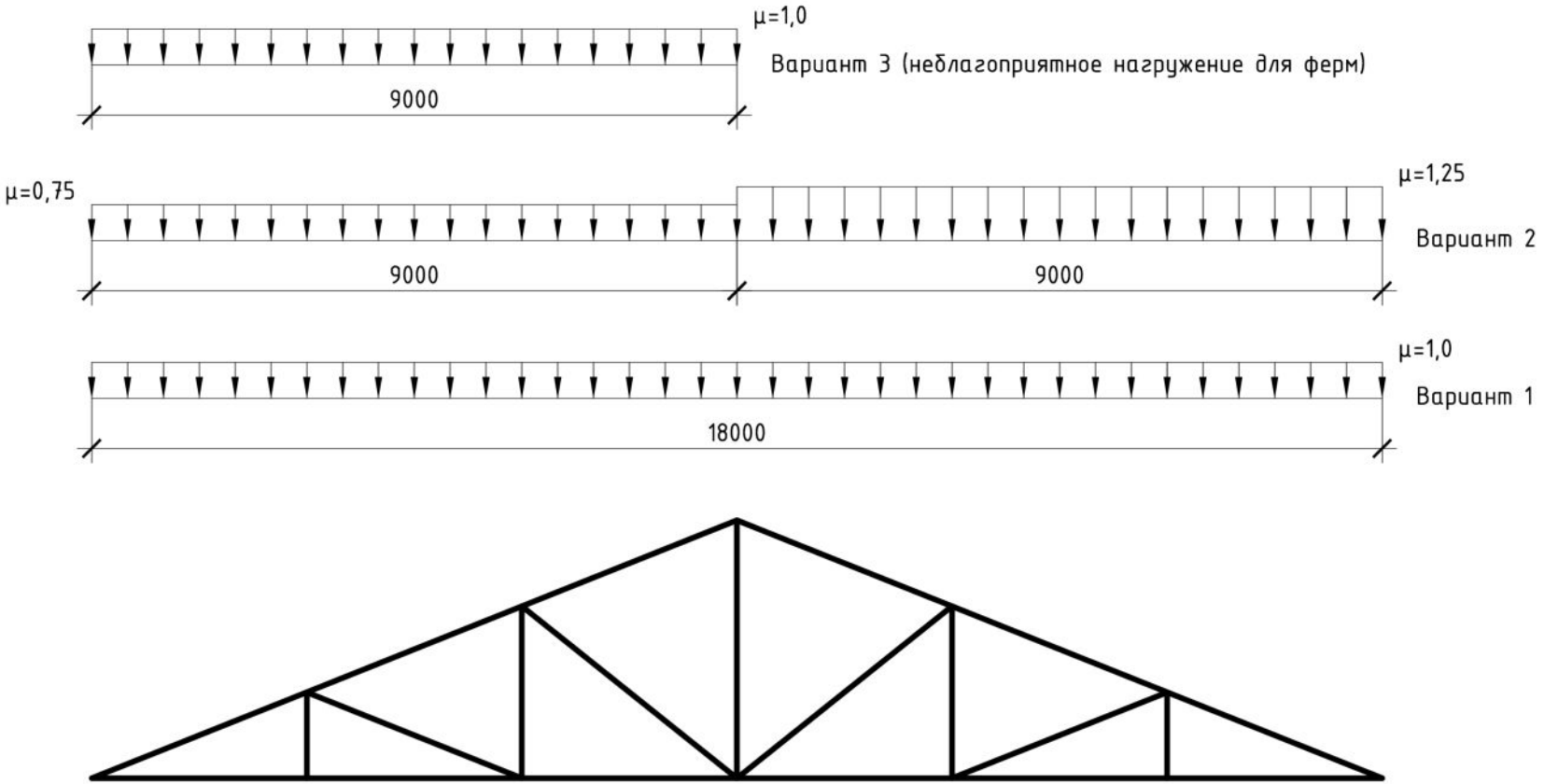
Нормативное значение веса снегового покрова для III снегового района $S_g = 1{,}5$ кПа.

Коэффициент $\mu$ принимаем согласно указаниям приложения Б (схема Б.1). При значении угла наклона верхнего пояса $\alpha = 22°$ коэффициент $\mu = 1$. Рассматриваем два варианта нагружения фермы по СП 20.13330.2017 – вариант 1 и вариант 2. Дополнительно рассматриваем возможное неблагоприятное нагружение – вариант 3.

Коэффициент надежности по снеговой нагрузке $\gamma_f = 1{,}4$.

Расчетная снеговая нагрузка

$$S = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g \cdot \gamma_f = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot \mu \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}4 = \mu \cdot 2{,}1 \text{ кПа}.$$


μ=1,0
Вариант 3 (неблагоприятное нагружение для ферм)
9000
μ=0,75
μ=1,25
Вариант 2
9000
9000
μ=1,0
Вариант 1
18000

## 2.3 Нагрузка на узел

Расчетная постоянная нагрузка

$$P_{пост} = g \cdot A_{гр} = 0{,}72 \cdot 12{,}0 = 8{,}64 \text{ кН}$$

$g$ – постоянная нагрузка, включающая в себя собственный вес фермы и вес кровли.

Расчетная снеговая нагрузка:

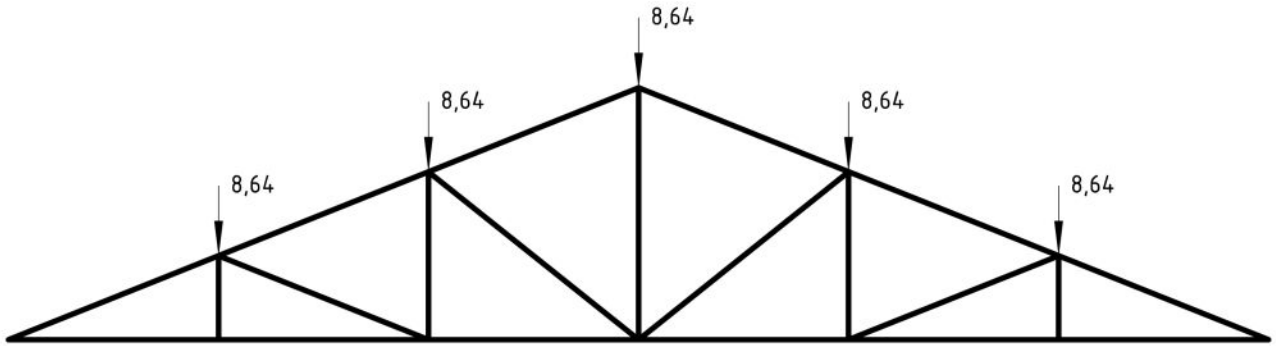
– вариант 1 – $P_{снег} = \mu \cdot 2{,}1 \cdot A_{гр} = 1{,}0 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0 = 25{,}2$ кН;

– вариант 2 – $P_{снег} = 0{,}75 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0 = 18{,}9$ кН, $P_{снег} = 1{,}25 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0 = 31{,}5$,

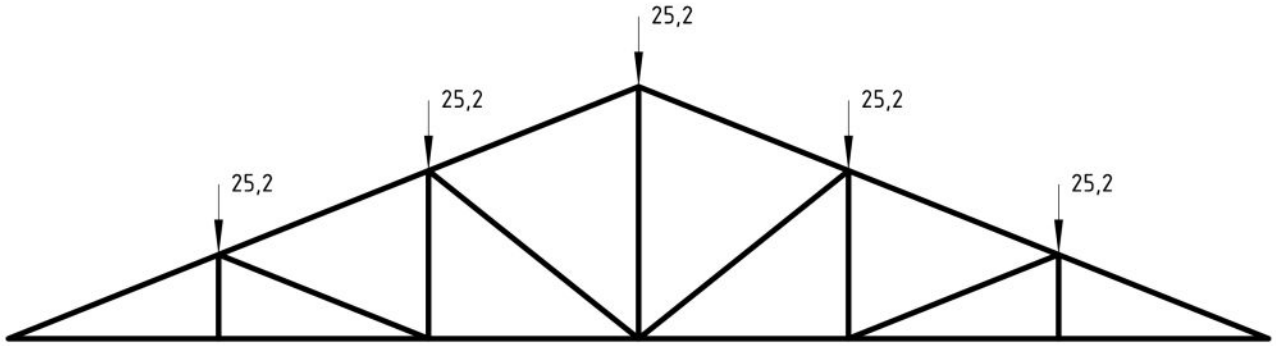
$$P_{снег} = (0{,}75 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0)/2 + (1{,}25 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0)/2 = 25{,}2 \text{ кН};$$

– вариант 3 – $P_{снег} = 1{,}0 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0 = 25{,}2$, $P_{снег} = +(1{,}0 \cdot 2{,}1 \cdot 12{,}0)/2 = 12{,}6$.

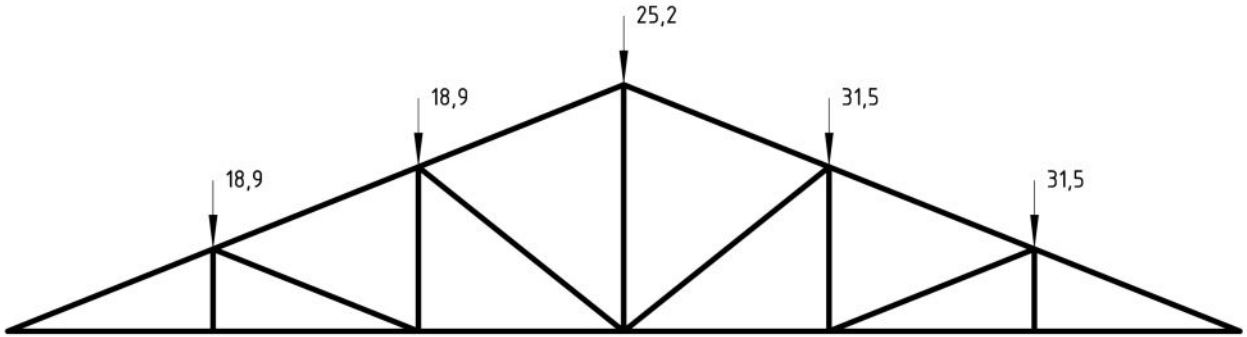
Постоянная нагрузка



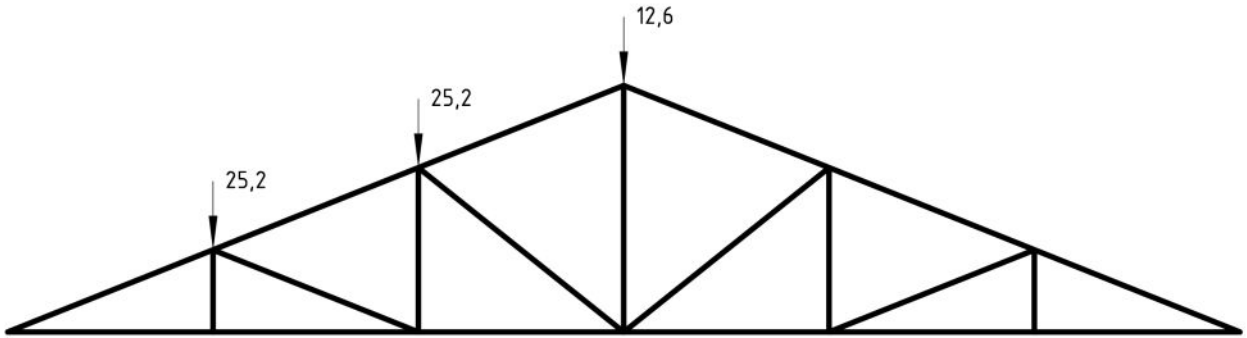

Снеговая нагрузка
(вариант 1)



Снеговая нагрузка
(вариант 2)




Снеговая нагрузка
(вариант 3)



2.4 Расчетное сочетание нагрузок

$$P = P_{пост} + P_{снег} \cdot \psi_{t1}$$

$\psi_{t1}$ – коэффициент сочетаний, соответствующий основной по степени влияния кратковременной нагрузке, принимаемый по СП 20.13330.2016, $\psi_{t1} = 1{,}0$.

Рассматриваем три сочетания нагрузок:

1) постоянная + снеговая (вариант 1);
2) постоянная + снеговая (вариант 2);
3) постоянная + снеговая (вариант 3).

## 3 Статический расчет фермы

Статический расчет фермы выполняется методом конечных элементов в ПК Лира-САПР (некоммерческая версия)

| Элемент | Усилие, кН | № сочетания |
|---|---|---|
| верхний пояс | -260,0 | 2 |
| нижний пояс | +241,3 | 2 |
| решетка | +74,3 | 1 |
| | -68,1 | 2 |

4 Определение ориентировочной площади сечений

$$F = \frac{N}{(0{,}6 \div 0{,}8) \cdot R \cdot m_{дл}}$$

$N$ – усилие в элементах;

$R$ – расчетное сопротивление на сжатие или растяжение материала элементов фермы (ориентировочно принимаем для древесины 2-го сорта – $R = 19{,}5\ МПа = 1{,}95\ кН/см^2$);

$m_{дл}$ – коэффициент длительной прочности (ориентировочно принимаем для режима нагружения В – $m_{дл} = 0{,}66$);

$(0{,}6 \div 0{,}8)$ – коэффициент для сжатых элементов.

$$F_{вп} = \frac{260}{0{,}7 \cdot 1{,}95 \cdot 0{,}66} = 289 \text{ см}^2$$

$$F_{нп} = \frac{241{,}3}{1{,}95 \cdot 0{,}66} = 188 \text{ см}^2$$

$$F_{р} = \frac{74{,}3}{0{,}7 \cdot 1{,}95 \cdot 0{,}66} = 83 \text{ см}^2$$

| Элемент | Площадь сечения требуемая | Принятое сечение | Площадь сечения фактическая |
|---|---|---|---|
| верхний пояс | 289 $см^2$ | 200×200 мм | 400 $см^2$ |
| нижний пояс | 188 $см^2$ | 250×200 мм | 500 $см^2$ |
| решетка | 83 $см^2$ | 150×150 мм | 225 $см^2$ |

Так как фактические сечения элементов больше принятых первоначально, следует увеличить нагрузку от собственного веса элементов и выполнить повторный статический расчет.

| **Элемент** | **Усилие, кН** | **№ сочетания** |
|---|---|---|
| верхний пояс | -258,1 | 2 |
| нижний пояс | +239,5 | 2 |
| решетка | +73,2 | 1 |
| | -67,6 | 2 |

# 5 Расчет элементов фермы

## 5.1 Расчет верхнего пояса

Расчет верхнего пояса выполняется как для центрально-сжатого элемента.

Определим расчетное сопротивление древесины. Для сжатых элементов принимаем 2 сорт древесины.

Расчетное сопротивление древесины сосны сжатию отсортированной по сортам (п. 6.1 СП 64.13330.2017)

$$R_c^p = R_c^A \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i$$

По таблице 3 (п. 1, в) СП 64.13330.2017 принимаем $\mathrm{R_c^A} = 22{,}5\ \mathrm{МПа}$.
По таблице 4 (режим В) СП 64.13330.2017 принимаем $\mathrm{m_{дл}} = 0{,}66\ \mathrm{МПа}$.

По п. 6.9 СП 64.13330.2017 принимаем:

а) по таблице 9 – $m_в = 0{,}9$;

б) в предположении что температура воздуха не будет подниматься выше плюс 35 ºС – $m_т = 1{,}0$;

в) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_б = 1{,}0$;

г) не учитывается, т.к. элемент сжат – $m_о = 1{,}0$;

д) при отсутствии глубокой пропитки антипиренами под давлением – $m_а = 1{,}0$;

е) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_{сл} = 1{,}0$;

ж) не учитывается, т.к. элемент прямолинейный – $m_{гн} = 1{,}0$;

и) по таблице 13 – $m_{с.с} = 1{,}0$;

к) не учитывается, т.к. элемент сминается вдоль волокон – $m_{см} = 1{,}0$.

Коэффициент, учитывающий породу древесины по таблице 5 (п. 4) СП 64.13330.2017) – $m_п = 0{,}8$.

$$\Pi m_i = m_в \cdot m_т \cdot m_б \cdot m_о \cdot m_а \cdot m_{сл} \cdot m_{гн} \cdot m_{с.с} \cdot m_{см} \cdot m_п =$$
$$= 0{,}9 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}72$$

$$R_c^p = 22{,}5 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}72 = 10{,}7 \text{ МПа} = 1{,}07 \text{ кН/см}^2$$

Проверка прочности (п. 7.2 СП 64.13330.2017)

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_c^p$$

Площадь элемента нетто сечением 200×200 мм – $F_{нт} = 20 \cdot 20 = 400\ см^2$.

$$\frac{258{,}1\ кН}{400\ см^2} = 0{,}65\ кН/см^2 < R_c^p = 1{,}07\ кН/см^2$$

Условие выполняется. Прочность верхнего пояса обеспечена.

Расчетная длина элемента (п. 7.5 СП 64.13330.2017)

$$l_o = l \cdot \mu_o$$

$l$ – расстояние между узлами элемента, закрепленными от смещения, принимаемое равным $l = 323$ см;

$\mu_o$ – при шарнирно-закрепленных концах $\mu_o = 1{,}0$.

$$l_o = 323 \cdot 1{,}0 = 323 \text{ см}$$

Гибкость элементов цельного сечения (п. 7.4 СП 64.13330.2017)

$$\lambda = \frac{l_{\text{o}}}{\text{r}}$$

r – радиус инерции сечения элемента с максимальными размерами брутто относительно оси сечения x, принимаемый равным $\text{r} = 0{,}29 \cdot \text{h} = 0{,}29 \cdot 20 = 5{,}8$ см.

$$\lambda = \frac{323}{5{,}8} = 55{,}7$$

Гибкость элемента не должна превышать предельную (п. 7.24 СП 64.13330.2017). Принимаем предельную гибкость по таблице 16 (п. 1) СП 64.13330.2017 – $\lambda_{\text{макс}} = 120$.

$$\lambda = 55{,}7 < \lambda_{\text{макс}} = 120$$

Коэффициент продольного изгиба φ при гибкости элемента $\lambda \leq 70$ (п. 7.3 СП 64.13330.2017)

$$\varphi = 1 - a \cdot \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2$$

коэффициент $a = 0{,}8$ для древесины.

$$\varphi = 1 - 0{,}8 \cdot \left(\frac{55{,}7}{100}\right)^2 = 0{,}75$$

Проверка устойчивости (п. 7.2 СП 64.13330.2017)

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{рас}} \leq R_c^p$$

Площадь элемента нетто сечением 200×200 мм при отсутствии ослаблений – $F_{рас} = F_{бр} = 20 \cdot 20 = 400\ см^2$.

$$\frac{258{,}1\ кН}{0{,}75 \cdot 400\ см^2} = 0{,}86 < R_c^p = 1{,}07\ кН/см^2$$

Условие выполняется. Устойчивость верхнего пояса обеспечена.

**Примечание – В общем случае, дополнительно требуется выполнить проверку устойчивости верхнего пояса из плоскости фермы. При проверке устойчивости из плоскости фермы верхний пояс может оказаться более гибким и потерять устойчивость. В рамках данной РГР этим можно пренебречь.**

## 5.2 Расчет нижнего пояса

Расчет нижнего пояса выполняется как для центрально-растянутого элемента.

Определим расчетное сопротивление древесины. Для растянутых элементов принимаем 1 сорт древесины.

Расчетное сопротивление древесины сосны растяжению отсортированной по сортам (п. 6.1 СП 64.13330.2017)

$$R_p^p = R_p^A \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i$$

По таблице 3 (п. 2, а) СП 64.13330.2017 принимаем $\mathrm{R}_{\mathrm{p}}^{\mathrm{A}} = 15\ \mathrm{МПа}$.

По таблице 4 (режим В) СП 64.13330.2017 принимаем $\mathrm{m}_{\mathrm{дл}} = 0{,}66\ \mathrm{МПа}$.

По п. 6.9 СП 64.13330.2017 принимаем:

а) по таблице 9 – $m_в = 0{,}9$;

б) в предположении что температура воздуха не будет подниматься выше плюс 35 ºС – $m_т = 1{,}0$;

в) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_б = 1{,}0$;

г) с учетом ослабления врубкой – $m_о = 0{,}8$;

д) при отсутствии глубокой пропитки антипиренами под давлением – $m_а = 1{,}0$;

е) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_{сл} = 1{,}0$;

ж) не учитывается, т.к. элемент прямолинейный – $m_{гн} = 1{,}0$;

и) по таблице 13 – $m_{с.с} = 1{,}0$;

к) не учитывается, т.к. элемент сминается вдоль волокон – $m_{см} = 1{,}0$.

Коэффициент, учитывающий породу древесины по таблице 5 (п. 4) СП 64.13330.2017) – $m_п = 0{,}8$.

$$\Pi m_i = m_в \cdot m_т \cdot m_б \cdot m_о \cdot m_а \cdot m_{сл} \cdot m_{гн} \cdot m_{с.с} \cdot m_{см} \cdot m_п =$$
$$= 0{,}9 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}57$$

$$R_p^p = 15 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}57 = 5{,}6 \text{ МПа} = 0{,}56 \text{ кН/см}^2$$

Проверка прочности (п. 7.1 СП 64.13330.2017)

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_p^p$$

Площадь элемента нетто сечением 250×200 мм – $F_{нт} = 20 \cdot 15 = 500\ см^2$.

$$\frac{239{,}5\ кН}{500\ см^2} = 0{,}48\ кН/см^2 < R_p^p = 0{,}56\ кН/см^2$$

Условие выполняется. Прочность нижнего пояса обеспечена.

**Примечание – При наличии врубки в нижнем поясе, прочность элемента может быть не обеспечена из-за уменьшения сечения и смещений центра тяжести сечения (появление изгиба – растянуто-изгибаемый элемент). В рамках данной РГР этим можно пренебречь.**

## 5.4 Расчет лобовой врубки

(п. 8.11 СП 64.13330.2017)

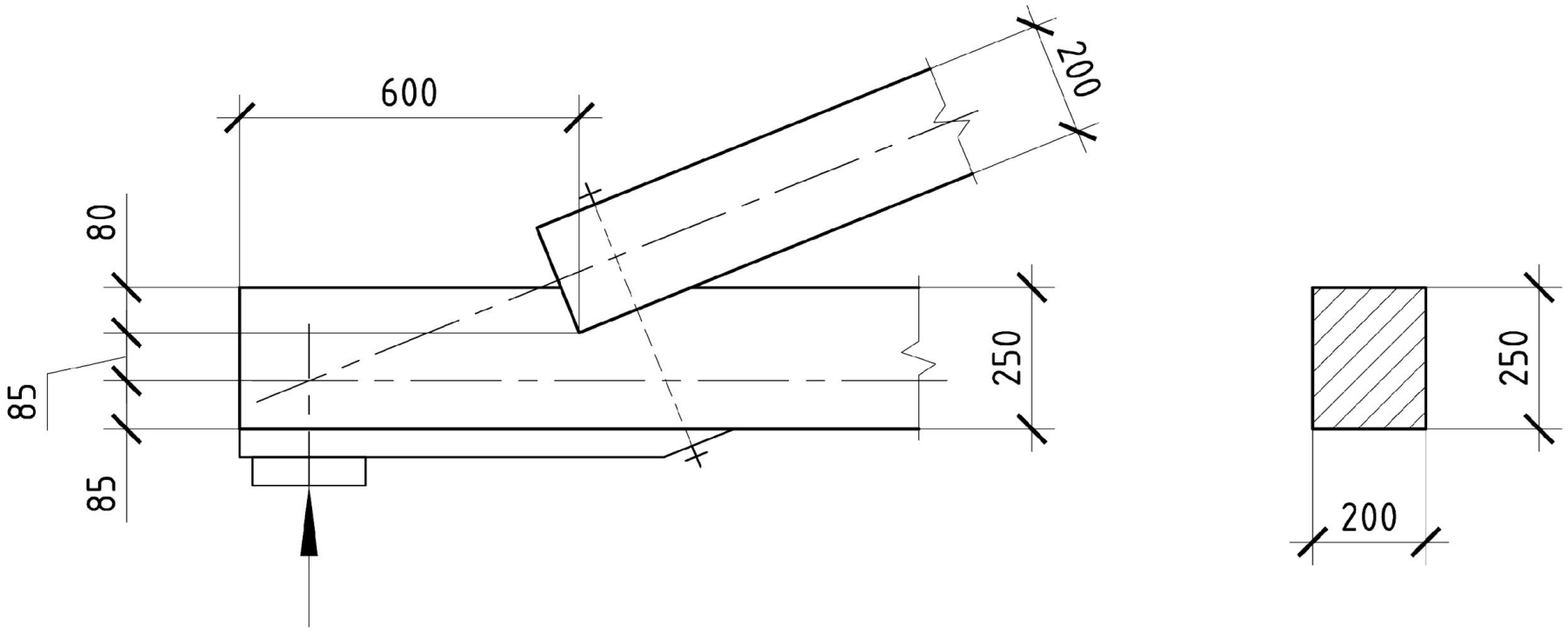
Длину плоскости скалывания $l_{ск}$ лобовых врубок следует принимать не менее $1{,}5h$, где $h$ – полная высота сечения скалываемого элемента. Кроме того, $l_{ск} \leq 10h_1$ (п. 8.3 СП 64.13330.2017).

Глубину врубки $h_1$ следует принимать не более $(1/3)h$, при этом глубина врубок в брусьях должна быть не менее 2 см.

Высота сечения нижнего пояса составляет $h = 25$ см, ширина $b = 20$ см.

Конструктивно принимаем глубину врубки $h_1 = 8$ см, что более 2 см и менее $(1/3)h = (1/3) \cdot 25 = 8{,}3$ см.

Конструктивно принимаем длину плоскости скалывания $l_{ск} = 60$ см, что более $1{,}5h = 1{,}5 \cdot 25 = 37{,}5$ см и не превышает $10h_1 = 80$ см.


600
200
80
85
85
250
250
200

Расчет врубки на смятие (п. 8.2 СП 64.13330.2017)

$$T = R_{см\alpha} \cdot F_{см}$$

$F_{см}$ – расчетная площадь смятия

$$F_{см} = \frac{b \cdot h_1}{\cos \alpha} = \frac{20 \cdot 8}{\cos 22^\circ} = 172 \text{ см}^2$$

$R_{см\alpha}$ – расчетное сопротивление древесины смятию под углом $\alpha$ к направлению волокон (п. 6.5 СП 64.13330.2017)

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

По таблице 3 (п. 1, в) СП 64.13330.2017 принимаем $R^{A}_{см} = 24$ МПа, по таблице 3 (п. 4, а) СП 64.13330.2017 принимаем $R^{A}_{см90} = 4{,}5$ МПа.

$$R^{A}_{см\alpha} = \frac{24}{1 + \left(\frac{24}{4{,}5} - 1\right) \cdot \sin^3 22°} = 19{,}6 \text{ МПа}$$

Расчетное сопротивление древесины сосны смятию отсортированной по сортам (п. 6.1 СП 64.13330.2017)

$$R^{p}_{см\alpha} = R^{A}_{см\alpha} \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i$$

По таблице 4 (режим В) СП 64.13330.2017 принимаем $m_{дл} = 0{,}66$ МПа.

По п. 6.9 СП 64.13330.2017 принимаем:

а) по таблице 9 – $m_в = 0{,}9$;

б) в предположении что температура воздуха не будет подниматься выше плюс 35 ºС – $m_т = 1{,}0$;

в) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_б = 1{,}0$;

г) не учитывается, т.к. элемент сминается – $m_о = 1{,}0$;

д) при отсутствии глубокой пропитки антипиренами под давлением – $m_а = 1{,}0$;

е) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_{сл} = 1{,}0$;

ж) не учитывается, т.к. элемент прямолинейный – $m_{гн} = 1{,}0$;

и) по таблице 13 – $m_{с.с} = 1{,}0$;

к) не учитывается, т.к. элемент сминается под углом к волокнам – $m_{см} = 1{,}0$.

Коэффициент, учитывающий породу древесины по таблице 5 (п. 4) СП 64.13330.2017) – $m_п = 0{,}8$.

$$\Pi m_i = m_в \cdot m_т \cdot m_б \cdot m_о \cdot m_а \cdot m_{сл} \cdot m_{гн} \cdot m_{с.с} \cdot m_{см} \cdot m_п =$$
$$= 0{,}9 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}72$$

$$R^{p}_{см\alpha} = 19{,}6 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}72 = 9{,}3\ МПа = 0{,}93\ кН/см^2$$

$$T = 0{,}93 \cdot 172 = 159{,}9\ кН < N_{вп} = 258{,}1\ кН$$

Несущая способность $T$ лобовой врубки на смятие меньше усилия $N_{вп}$, действующего в верхнем поясе. Прочность узла не обеспечена. Необходимо увеличить площадь смятия (увеличить ширину нижнего пояса или увеличить глубину врубки, что равносильно увеличению высоты сечения нижнего пояса).

**Примечание – В рамках данной РГР необходимо обеспечить выполнение данного условия.**

Расчет врубки на скалывание (п. 8.2 СП 64.13330.2017)

$$T = R_{ск}^{ср} \cdot F_{ск}$$

$F_{ск}$ – расчетная площадь скалывания;

$$F_{ск} = b \cdot l_{ск} = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ см}^2$$

$R_{ск}^{ср}$ – расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон

$$R_{ск}^{ср} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \cdot \frac{l_{ск}}{e}}$$

$\beta$ – коэффициент, принимаемый равным $\beta = 0{,}25$ при расчете соединений, работающих по схеме, показанной на рисунке 6, г СП 64.13330.2017, т.к. обжатие по плоскостям скалывания не обеспечено;

$e$ – плечо сил скалывания, принимаемое равным $e = 0{,}5h$ при расчете элементов с несимметричной врезкой в соединениях без зазора между элементами (рисунок 6, а СП 64.13330.2017)

$$e = 0{,}5h = 0{,}5 \cdot 25 = 12{,}5 \text{ см}$$

Отношение $l_{ск}/e$ должно быть не менее 3 (п. 8.3 СП 64.13330.2017)

$$\frac{l_{ск}}{e} = \frac{60}{12{,}5} = 4{,}8 > 3$$

$R_{ск}$ – расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (при расчете по максимальному напряжению), определяемое по п. 6.1…6.3 СП 64.13330.2017.

По таблице 3 (п. 5, в) СП 64.13330.2017 принимаем $R_{ск}^{А} = 3{,}6\ МПа$.

Расчетное сопротивление древесины сосны скалываю отсортированной по сортам (п. 6.1 СП 64.13330.2017)

$$R_{ск}^{р} = R_{ск}^{А} \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i$$

По таблице 4 (режим В) СП 64.13330.2017 принимаем $m_{дл} = 0{,}66\ МПа$.

По п. 6.9 СП 64.13330.2017 принимаем:

а) по таблице 9 – $m_в = 0{,}9$;

б) в предположении что температура воздуха не будет подниматься выше плюс 35 ºС – $m_т = 1{,}0$;

в) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_б = 1{,}0$;

г) не учитывается, т.к. элемент (нижний пояс) растянут – $m_о = 1$;

д) при отсутствии глубокой пропитки антипиренами под давлением – $m_а = 1{,}0$;

е) не учитывается, т.к. элемент из цельной древесины – $m_{сл} = 1{,}0$;

ж) не учитывается, т.к. элемент прямолинейный – $m_{гн} = 1{,}0$;

и) по таблице 13 – $m_{с.с} = 1{,}0$;

к) не учитывается, т.к. элемент скалывается – $m_{см} = 1{,}0$.

Коэффициент, учитывающий породу древесины по таблице 5 (п. 4) СП 64.13330.2017) – $m_п = 0{,}8$.

$$\Pi m_i = m_в \cdot m_т \cdot m_б \cdot m_о \cdot m_а \cdot m_{сл} \cdot m_{гн} \cdot m_{с.с} \cdot m_{см} \cdot m_п =$$
$$= 0{,}9 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}8 = 0{,}72$$

$$R_{ск}^{р} = 3{,}6 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}72 = 1{,}35 \text{ МПа}$$

$$R_{ск}^{ср} = \frac{1{,}35}{1 + 0{,}25 \cdot \frac{60}{12{,}5}} = 0{,}61 \text{ МПа} = 0{,}06 \text{ кН/см}^2$$

$$T = 0{,}06 \cdot 1200 = 72\ кН < N_{вп} \cdot \cos 22° = 258{,}1 \cdot \cos 22° = 239{,}3\ кН$$

Несущая способность $T$ лобовой врубки на скалывание меньше усилия $N_{вп} \cdot \cos 22°$, действующего в верхнем поясе. Прочность узла не обеспечена. Необходимо увеличить площадь скалывания (увеличить ширину нижнего пояса или увеличить длину площадки скалывания.

**Примечание – В рамках данной РГР необходимо обеспечить выполнение данного условия.**