

Практическое занятие № 7

На тему: «Расчет соединения на лобовой врубке»

Расчет лобовой врубки ведется по условиям действующих в соединении напряжений:

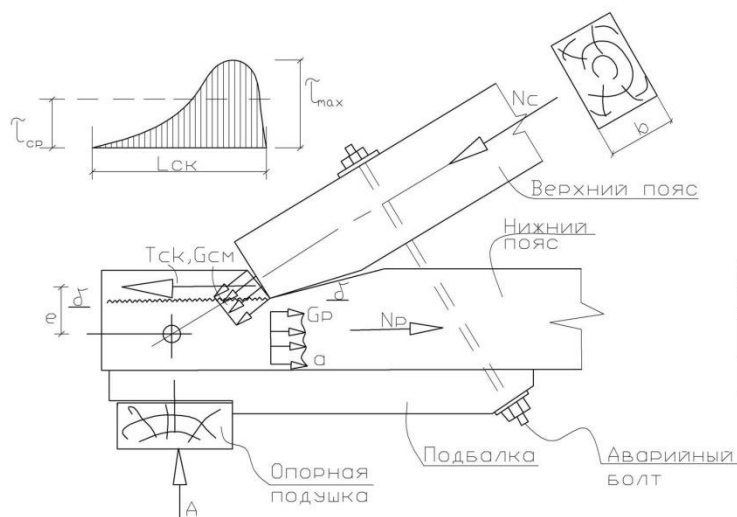


Рис. 1. Соединение на лобовой врубке

1). На смятие древесины под углом α в нижнем поясе по формуле

$$U_{см} = P_{см} R_{сма} \geq N_c,$$

или в напряжения

$$\sigma_{сма} = N_c / F_{см} \leq R_{сма},$$

где $F_{см} = bh_{вр}/\cos\alpha$ - площадь смятия в элементе нижнего пояса шириной b ; $R_{сма}$ - расчетное сопротивление древесины смятию под углом α ; N_c - сжимающее усилие в верхнем поясе.

2). На скалывание древесины вдоль волокон в нижнем поясе

$$U_{ск} = F_{ск} R_{ск} \geq T_{ск}$$

или в напряжениях

$$\tau_{ск} = T_{ск} / F_{ск} \leq R_{ск},$$

где $F_{ск} = b L_{ск}$ - площадь скалывания в элементе нижнего пояса шириной b ; $R_{ск}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию; $T_{ск}$ - усилие, вызывающее скалывание; $\tau_{ск}$ - скалывающее напряжение.

3). На растяжение нижнего пояса по ослабленному сечению

$$U_p = F_{нт} R_p m_o \geq N_p = T_{ск},$$

или в напряжениях

$$\sigma_p = N_p / F_{нт} \leq R_p m_0;$$

где $F_{нт} = b \cdot (h - h_{вр})$ - площадь нетто поперечного сечения нижнего пояса в зоне ослабления; R_p - расчетное сопротивление древесины растяжению, $m_0 = 0.8$; $N_p = T_{ск}$ - растягивающее усилие в элементе нижнего пояса; σ_p - растягивающие напряжения в нижнем поясе.

Задача 12.

В опорном узле фермы, выполненной из древесины сосны 2-го сорта (рис. 13), сечение нижнего пояса $b \times h_{н.п} = 200 \times 250$ мм, сечение верхнего пояса $b \times h_{в.п} = 200 \times 200$ мм. Угол между верхним и нижним поясом $\alpha = 18^\circ$. Усилия в элементах лобовой врубки: усилие в верхнем поясе $N_{см} = 121$ кН, усилие в нижнем поясе $T_{ск} = 115$ кН. Класс ответственности здания – II, $\gamma_n = 0.95$. Температурно-влажностные условия эксплуатации – 1б (табл. 1 СП 64.13330.2017 [2]).

Запроектировать соединение на лобовой врубке.

Решение

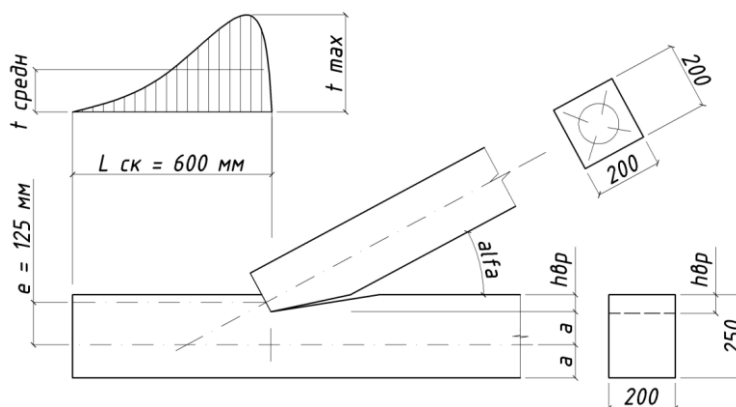


Рис. 2. Рисунок к задаче 12

1. Принимаем: глубина врубки $h_{вр} = 70$ мм $< h_{н.п} / 3 = 250 / 3 = 83$ мм.

2. Определяем геометрические параметры соединения:

- Плечо пары сил:

$$e = h_{н.п} / 2 = 250 / 2 = 125 \text{ мм};$$

- Длина площадки скалывания:

$$L_{ск} = 600 \text{ мм} < 10 h_{вр} = 700 \text{ мм};$$

$$L_{\text{ск}} = 600 \text{ мм} > 3e = 3 \cdot 125 = 375 \text{ мм}.$$

1. Определяем РНС узла при назначенных размерах:

- РНС узла из условия смятия древесины в нижнем поясе под углом $\alpha=18^\circ$:

$$T_{\text{см}} = F_{\text{см}} \cdot R_{\text{см}18}.$$

$$\text{Площадь смятия } F_{\text{см}} = 200 \cdot 70 / \cos 18^\circ = 14720 \text{ мм}^2.$$

Расчетное сопротивление древесины нижнего пояса смятию под углом 18° градусов к волокнам $R_{\text{см}18} = R_{\text{см}} / [1 + (R_{\text{см}} / R_{\text{см}90} - 1) \cdot \sin^3 18]$, где расчетное сопротивление смятию древесины, МПа, по табл.3 СП 64.13330.2017 [2], для древесины влажностью 12 %, для режима нагружения А согласно табл. 4, в сооружениях 2-го класса функционального назначения согласно табл.2, при сроке эксплуатации не более 50 лет (для стандартных условий):

$$R_{\text{см}}^A = 22,5 \text{ МПа} - \text{расчетное сопротивление смятию вдоль волокон};$$

$$R_{\text{см}90}^A = 4,5 \text{ МПа} - \text{расчетное сопротивление смятию поперек волокон};$$

$$R_{\text{см}18}^A = R_{\text{см}} / [1 + (R_{\text{см}} / R_{\text{см}90} - 1) \cdot \sin^3 18] =$$

$$= 22,5 / [1 + (22,5 / 4,5 - 1) \cdot \sin^3 18] = 20,13 \text{ МПа}.$$

- Расчетное сопротивление смятию с учетом условий эксплуатации:

$$R_{\text{см}18} = 20,13 \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{в}} / \gamma_n = 20,13 \cdot 0,66 \cdot 1 / 0,95 = 14,0 \text{ МПа},$$

где $m_{\text{в}}$ – коэффициент условия работы, $m_{\text{в}} = 1$ (табл. 9 СП 64.13330.2017 [2]).

Следовательно, РНС узла из условия смятия древесины:

$$T_{\text{см}} = F_{\text{см}} \cdot R_{\text{см}18} = 14720 \cdot 14,0 = 205800 \text{ Н} = 205,8 \text{ кН} > N_{\text{см}} = 121 \text{ кН}.$$

- РНС узла из условия скалывания древесины нижнего пояса вдоль волокон

$$T_{\text{ск}} = F_{\text{ск}} \cdot R_{\text{ск}}^{\text{сп}}.$$

- Площадь скалывания $F_{\text{ск}} = 200 \cdot 600 = 120000 \text{ мм}^2$.

Расчетное сопротивление скалыванию:

- $R_{\text{ск}}^A = 3,2 \text{ МПа}$ - по табл. 3 СП 64.13330.2017[2] расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон в лобовых врубках для максимального напряжения для древесины 2-го сорта для древесины влажностью 12 %, для режима нагружения А согласно табл. 4, в сооружениях 2-го класса

функционального назначения согласно табл.2, при сроке эксплуатации не более 50 лет (для стандартных условий);

расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон в лобовых врубках для максимального напряжения с учетом условий эксплуатации:

$$R_{\text{ск}}^{\text{max}} = 3,2 \text{ МПа} \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{в}} / \gamma_n = 3,2 \cdot 0,66 \cdot 1 / 0,95 = 2,2 \text{ МПа}$$

коэффициент, учитывающий схему скалывания $\beta = 0,25$ (в лобовой врубке односторонняя схема скалывания);

$$\text{плечо пары сил } e = h/2 = 250 / 2 = 125 \text{ мм};$$

среднее по площадке расчетное сопротивление скалыванию:

$$R_{\text{ск}}^{\text{cp}} = R_{\text{ск}}^{\text{max}} / [1 + \beta \cdot (L_{\text{ск}} / e)] = 2,2 / [1 + 0,25 \cdot (600 / 125)] = 1,06 \text{ МПа}.$$

РНС узла из условия скалывания древесины

$$T_{\text{ск}} = F_{\text{ск}} \cdot R_{\text{ск}}^{\text{cp}} = 200 \cdot 600 \cdot 1,06 = 127600 \text{ Н} = 127,6 \text{ кН} > T_{\text{ск}} = 115 \text{ кН}.$$

- РНС узла из условия растяжения нижнего пояса по ослабленному сечению:

$$N_p = F_{\text{нт}} \cdot R_p \cdot m_o.$$

- Площадь ослабленного сечения $F_{\text{нт}} = (250 - 70) \cdot 200 = 36000 \text{ мм}^2$.

- $R_p^A = 10,5 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление растяжению - по табл. 3 СП 64.13330.2017 [2] для древесины 2-го сорта, влажностью 12 %, для режима нагружения А согласно табл. 4, в сооружениях 2-го класса функционального назначения согласно табл.2, при сроке эксплуатации не более 50 лет (для стандартных условий);

- Расчетное сопротивление растяжению с учетом условий эксплуатации

$$R_p = 10,5 \text{ МПа} \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{в}} / \gamma_n = 10,5 \cdot 0,66 \cdot 1 / 0,95 = 7,3 \text{ МПа}$$

- Коэффициент для элементов, имеющих ослабление в расчетном сечении $m_o = 0,8$.

Следовательно, РНС узла из условия растяжения нижнего пояса:

$$N_p = F_{\text{нт}} \cdot R_p \cdot m_o = 36000 \cdot 7,3 \cdot 0,8 = 210088 \text{ Н} = 210,1 \text{ кН} > T_{\text{ск}} = 115 \text{ кН}.$$

Ответ. Для заданных условий задачи при размерах лобовой врубки

$$h_{\text{вр}} = 70 \text{ мм} < h_{\text{н.п}} / 3 = 83 \text{ мм}, L_{\text{ск}} = 600 \text{ мм} < 10 h_{\text{вр}} = 700 \text{ мм} \text{ и } L_{\text{ск}} > 3e =$$

$= 3 \cdot 125 = 375$ мм, РНС узла составляет: из условия смятия древесины в нижнем поясе $T_{см} = 205,8$ кН $> N_{см} = 121$ кН, из условия скалывания древесины в нижнем поясе $T_{ск} = 127,6$ кН $> T_{ск} = 115$ кН, из условия растяжения нижнего пояса по ослабленному сечению $N_p = 210,1$ кН $> T_{ск} = 115$ кН.

Задача 13.

Соединение на лобовой врубке (рис. 14) выполнено из древесины сосны 2-го сорта. Сечение нижнего пояса $b \times h_{н.п} = 150 \times 200$ мм, сечение верхнего пояса $b \times h_{в.п} = 150 \times 150$ мм, угол между верхним и нижним поясом $\alpha = 24^\circ$, глубина врубки $h_{вр} = 60$ мм $< h_{н.п} / 3 = 200 / 3 = 67$ мм. Класс ответственности здания – II, $\gamma_n = 0,95$. Температурно-влажностные условия эксплуатации 1б (табл. 1 СП 64.13330.2017 [2]).

Определить расчетную несущую способность соединения .

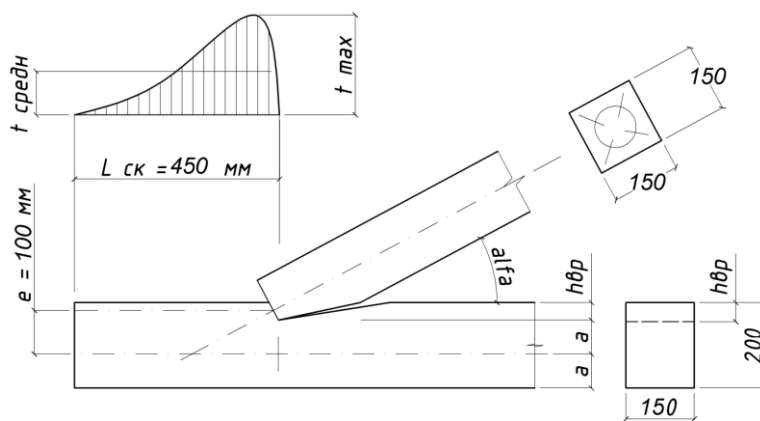


Рис. 14. Рисунок к задаче 13.

Решение

1. Определяем геометрические параметры соединения:

- плечо пары сил:

$$e = h_{н.п} / 2 = 200 / 2 = 100 \text{ мм};$$

- длина площадки скалывания:

$$L_{ск} = 450 \text{ мм} < 10 h_{вр} = 600 \text{ мм};$$

$$L_{ск} = 450 \text{ мм} > 3e = 3 \cdot 100 = 300 \text{ мм}.$$

2. Определяем РНС узла при назначенных размерах:

- РНС узла из условия смятия древесины в нижнем поясе под углом $\alpha = 24^\circ$:

$$T_{\text{см}} = F_{\text{ск}} \cdot R_{\text{см.24}}.$$

- Площадь смятия $F_{\text{см}} = 150 \cdot 60 / \cos 24^\circ = 9851 \text{ мм}^2$.

Расчетное сопротивление древесины нижнего пояса смятию под углом 24° градуса к волокнам $R_{\text{см24}} = R_{\text{см}} / [1 + (R_{\text{см}} / R_{\text{см90}} - 1) \cdot \sin^3 24]$, где расчетное сопротивление смятию древесины, МПа, по табл.3 СП 64.13330.2017 [2], для древесины влажностью 12 %, для режима нагружения А согласно табл.4, в сооружениях 2-го класса функционального назначения согласно табл.2, при сроке эксплуатации не более 50 лет (для стандартных условий):

$R_{\text{см}}^A = 22,5 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление смятию вдоль волокон;

$R_{\text{см90}}^A = 4,5 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление смятию поперек волокон;

$$R_{\text{см24}}^A = R_{\text{см}} / [1 + (R_{\text{см}} / R_{\text{см90}} - 1) \cdot \sin^3 24] = 22,5 / [1 + (22,5 / 4,5 - 1) \cdot \sin^3 24] = 17,73 \text{ МПа}.$$

- Расчетное сопротивление древесины нижнего пояса смятию под углом 24° к волокнам с учетом условий эксплуатации:

$$R_{\text{см24}} = 17,73 \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{в}} / \gamma_{\text{п}} = 17,73 \cdot 0,66 \cdot 1 / 0,95 = 12,3 \text{ МПа},$$

где $m_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий температурно – влажностный режим эксплуатации конструкции, $m_{\text{в}} = 1$ (табл. 9 СП 64.13330.2017 [2]).

Следовательно, РНС узла из условия смятия древесины:

$$T_{\text{см}} = F_{\text{см}} \cdot R_{\text{см24}} = 9851 \cdot 12,3 = 121167 \text{ Н} = 121,1 \text{ кН}.$$

• РНС узла из условия скалывания древесины нижнего пояса вдоль волокон:

$$T_{\text{ск}} = F_{\text{ск}} \cdot R_{\text{ск}}^{\text{сп}}.$$

- Площадь скалывания $F_{\text{ск}} = 150 \cdot 450 = 67500 \text{ мм}^2$.

Расчетное сопротивление скалыванию:

- $R_{\text{ск}}^A = 3,2 \text{ МПа}$ - по табл. 3 СП 64.13330.2017[2] расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон в лобовых врубках для максимального напряжения для древесины 2-го сорта для древесины влажностью 12 %, для режима нагружения А согласно табл. 4, в сооружениях 2-го класса функционального назначения согласно табл.2, при сроке эксплуатации не более 50 лет (для стандартных условий);

расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон в лобовых врубках для максимального напряжения с учетом условий эксплуатации:

$$R_{\text{ск}}^{\text{max}} = 3,2 \text{ МПа} \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{в}} / \gamma_n = 3,2 \cdot 0,66 \cdot 1 / 0,95 = 2,2 \text{ МПа}$$

коэффициент, учитывающий схему скалывания $\beta = 0,25$ (в лобовой врубке односторонняя схема скалывания);

$$\text{плечо пары сил } e = h / 2 = 250 / 2 = 125 \text{ мм};$$

среднее по площадке расчетное сопротивление скалыванию:

$$R_{\text{ск}}^{\text{cp}} = R_{\text{ск}}^{\text{max}} / [1 + \beta \cdot (L_{\text{ск}} / e)] = 2,2 / [1 + 0,25 \cdot (600 / 125)] = 1,06 \text{ МПа}.$$

Следовательно, РНС узла из условия скалывания древесины:

$$T_{\text{ск}} = F_{\text{ск}} \cdot R_{\text{ск}}^{\text{cp}} = 67500 \cdot 1,06 = 71475 \text{ Н} = 71,48 \text{ кН}.$$

- РНС узла из условия растяжения нижнего пояса по ослабленному сечению:

$$N_p = F_{\text{нт}} \cdot R_p \cdot m_o.$$

$$\text{- Площадь ослабленного сечения } F_{\text{нт}} = (200 - 60) \cdot 150 = 21000 \text{ мм}^2.$$

- $R_p^A = 10,5 \text{ МПа}$ - расчетное сопротивление растяжению - по табл. 3 СП 64.13330.2017 [2] для древесины 2-го сорта, влажностью 12 %, для режима нагружения А согласно табл. 4, в сооружениях 2-го класса функционального назначения согласно табл.2, при сроке эксплуатации не более 50 лет (для стандартных условий);

- Расчетное сопротивление растяжению с учетом условий эксплуатации

$$R_p = 10,5 \text{ МПа} \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{в}} / \gamma_n = 10,5 \cdot 0,66 \cdot 1 / 0,95 = 7,3 \text{ МПа};$$

- Коэффициент для элементов, имеющих ослабление в расчетном сечении $m_o = 0,8$.

Следовательно, РНС узла из условия растяжения нижнего пояса:

$$N_p = F_{\text{нт}} \cdot R_p \cdot m_o = 21000 \cdot 7,3 \cdot 0,8 = 122640 \text{ Н} = 122,6 \text{ кН}.$$

Ответ. Для заданных условий задачи при размерах лобовой врубки $h_{\text{вр}} = 60 \text{ мм} < h_{\text{н.п}} / 3 = 67 \text{ мм}$, $L_{\text{ск}} = 450 \text{ мм} < 10 h_{\text{вр}} = 600 \text{ мм}$ и $L_{\text{ск}} > 3e = 3 \cdot 100 = 300 \text{ мм}$, РНС узла составляет: из условия смятия древесины в нижнем поясе $T_{\text{см}} = 121,1 \text{ кН}$, из условия скалывания древесины в нижнем поясе $T_{\text{ск}} = 74,2 \text{ кН}$, из условия растяжения нижнего пояса по ослабленному сечению $N_p = 122,6 \text{ кН}$.