

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
“Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет”
(ННГАСУ)

Инженерно-строительный факультет

Кафедра конструкций из дерева, древесных композитов и пластмасс

**РАСЧЕТ КЛЕЕНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ
С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ**

Методические указания для решения задач в рамках дисциплины
“Проектирование деревянных конструкций с учетом требований
огнестойкости” для студентов 5-го курса по специальности 270102.65 –
“Промышленное и гражданское строительство”

Нижегород, 2011

УДК 624.011.1

Расчет клееной деревянной балки с учетом требований огнестойкости. Методические указания для решения задач в рамках дисциплины “Проектирование деревянных конструкций с учетом требований огнестойкости” для студентов 5-го курса по специальности 270102.65 – “Промышленное и гражданское строительство”, Н.Новгород, издание ННГАСУ, 2011, 22 с.

Рассмотрен пример расчета сечений клееной деревянной балки как в нормальных условиях эксплуатации, так и в условиях воздействия пожара.

СОСТАВИТЕЛЬ: А.В. КРИЦИН
РЕЦЕНЗЕНТ: Р.И. МОЛЕВА

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания разработаны для проведения занятий по дисциплине спецкурса «Проектирования деревянных конструкций с учетом требований огнестойкости».

В силу отсутствия на момент написания настоящих указаний единой утвержденной в установленном законом порядке методики расчета деревянных элементов, подверженных воздействию огня, в приведенных ниже расчетах использован отечественный опыт исследования и нормирования пожарно-технических характеристик, а также опыт создания расчетных методик, приобретенный за последние несколько десятилетий.

В качестве примера рассматривается расчет несущей клееной балки покрытия.

Поскольку подготовка настоящих методических указаний ведется в условиях переходного периода к актуализированным редакциям норм, их апробации и корректуры, а также с учетом того, что предыдущая редакция строительных норм является одновременно действующей с актуализированными редакциями, в дальнейших расчетах используются обозначения, терминология и математические выражения из предыдущей (но действующей) редакции строительных норм.

1. Задание для расчета

Требуется подобрать сечение несущей балки покрытия складского здания из условия удовлетворения требованиям I-й и II-й групп предельных состояний для нормальных условий эксплуатации, а также из условия обеспечения требуемого предела огнестойкости конструкций, устанавливаемого по времени (в минутах) наступления одного из нормируемых признаков предельного состояния, сопровождающегося потерей несущей способности вследствие обрушения конструкций или возникновения предельных деформаций [3].

Кроме этого, требуется установить разницу расходов древесины в проектных решениях, полученных из двух указанных условий (в процентах по отношению к расчету для нормальных условий эксплуатации), но только в случае, если расчет из условия обеспечения требуемого предела огнестойкости дает увеличение сечения конструкции.

Конструктивных средств огнезащиты, повышающих предел огнестойкости конструкции в данном задании не используется. Но при этом применяется вспучивающее лаковое покрытие, обеспечивающее требуемый класс пожарной опасности конструкций и несколько повышающее предел огнестойкости (п.5.1 [8] и п.10.5[4]).

Полагаем, что узловые соединения с применением стальных деталей и связи, обеспечивающие пространственную устойчивость здания, имеют надлежащую конструктивную огнезащиту, обеспечивающую им предел огнестойкости не меньше предела огнестойкости рассчитываемой конструкции. Подбор сечения балки для нормальных условий эксплуатации должен быть выполнен с недонапряжением в определяющей проверке не более 10%.

В задачах приняты следующие исходные данные:

- расчетная нагрузка от собственного веса несущих и ограждающих конструкций покрытия, включая ориентировочный вес рассчитываемых элементов $g = 60 \text{ кгс/м}^2$;
- то же, нормативная нагрузка $g_n = 50 \text{ кгс/м}^2$;
- расположение распорок связевой системы покрытия таково, что центральная распорка крепится в середине длины балки;
- шаг продольных распорок в покрытии $l_p = 3 \text{ м}$;
- шаг поперечных рам каркаса $B = 6 \text{ м}$;
- угол наклона балки к горизонтальной поверхности $\alpha = 15^\circ$;
- ширина сечения балок $b \geq 80 \text{ мм}$;
- высота сечения балок $3 \cdot b \leq h \leq 10 \cdot b$;
- толщина досок клееного пакета $\delta = 26 \text{ мм}$;

- древесина всех конструкций – сосна II-го сорта;
- температурно-влажностные условия эксплуатации по табл. 1 [5] – А2;

Значения пролета несущей балки L , снеговой район строительства и требуемый предел огнестойкости конструкций $Птр$ принимаются по Приложению 1 настоящих указаний для варианта “0”:

- $L = 14$ м;
- Снеговой район – IV;
- $Птр = 30$ мин.

Схема поперечного каркаса представлена на рис.1.

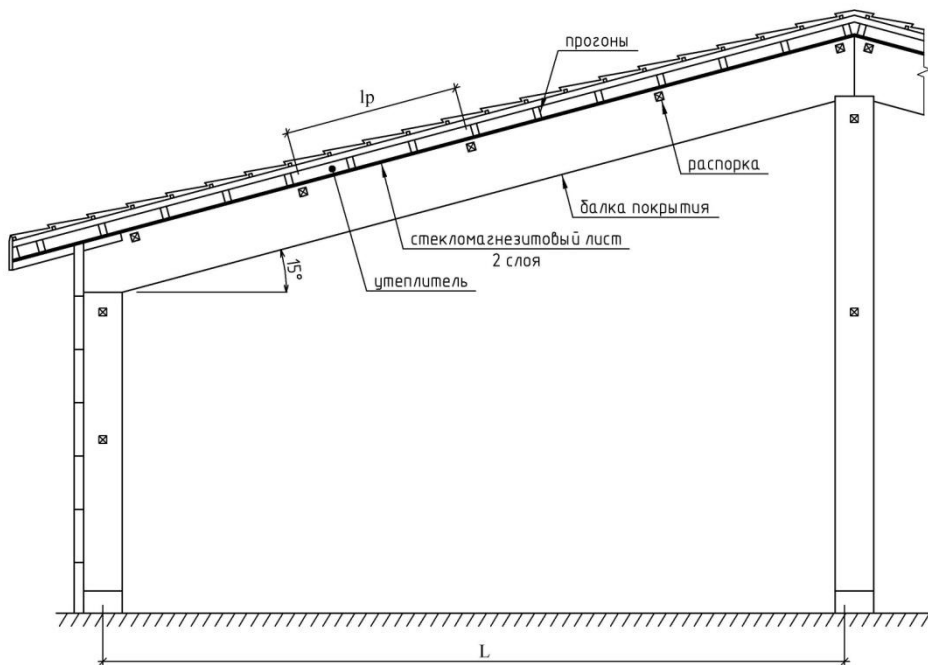


Рисунок 1. Схема поперечного каркаса.

2. Расчет балки в нормальных условиях эксплуатации.

Согласно СНиП II-25-80* [5] подбор и проверка сечения балки, находящейся в нормальных условиях эксплуатации, должна выполняться исходя из следующих основных условий:

- 1) Проверка прочности балки по нормальным напряжениям (п. 4.9 [5]);
- 2) Проверка прочности балки по касательным напряжениям (п.4.10 [5]);
- 3) Проверка устойчивости плоской формы деформирования балки (п.4.14 [5])
- 4) Проверка жесткости балки (п.4.33 [5])

2.1. Проверка прочности балки по нормальным напряжениям.

Первоначальные размеры сечения балки определим исходя из условия:

$$\frac{M}{W_{\text{расч.}}} \leq R_{\text{и}}$$

$$M = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{1800 \cdot 14^2}{8} = 44100 \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

$$q = (g + S) \cdot B = (60 + 240) \cdot 6 = 1800 \frac{\text{кгс}}{\text{м}}$$

$$S = S_g \cdot \mu = 240 \cdot 1,0 = 240 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$$

$$S_g = 2,4 \text{ кПа} = 240 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} \text{ (табл. 5.1[7]); } \mu = 1,0 \text{ (п. 5.1 [7])}$$

$$W_{\text{расч.}} = \frac{b \cdot h^2}{6}; b = 16 \text{ см (см. табл. 1 Прил. 2 настоящих указаний)}$$

Ширину сечения b принимаем предварительно с учетом ширины сечения исходных пиломатериалов по Приложению 2 настоящих указаний и с учетом припуска на острожку (15 мм при длине балки до 12 м и 20 мм при длине балки более 12 м).

$$R_{\text{и}} = R_{\text{и}}^{\text{таб}} \cdot m_{\text{н}} \cdot m_{\text{в}} \cdot m_{\text{т}} \cdot m_{\text{д}} \cdot m_{\text{н}} \cdot m_{\text{б}} \cdot m_{\text{сл}} \cdot m_{\text{гн}} \cdot m_0 \cdot m_{\text{а}}$$

$$R_{\text{и}}^{\text{таб}} = 150 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (табл. 3 [5])}$$

Коэффициенты условий работы деревянных конструкций принимаются по п.3.1 и п.3.2 СНиП II-25-80* [5]. В наших задачах все

коэффициенты, кроме m_b и m_{cl} в соответствии с исходными условиями принимаются равными 1,0.

Коэффициент m_{cl} принимается по п.3.2,е [5] и равен 1,05.

Коэффициент m_b принимается по п.3.2,д [5] в зависимости от высоты полученного сечения. Поскольку на настоящий момент высота сечения неизвестна, принимаем минимальное значение $m_b = 0,8$.

$$R_{и} = R_{и}^{таб} \cdot m_b \cdot m_{cl} = 150 \cdot 0,8 \cdot 1,05 = 126 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Требуемая высота сечения выразится:

$$h_{тр} = \sqrt{\frac{M \cdot 6}{R_{и} \cdot b}} = \sqrt{\frac{44100 \cdot 6}{126 \cdot 10^4 \cdot 0,16}} = 1,146 \text{ м} = 114,6 \text{ см}$$

Принимаем $h = 114,4$ см (что кратно целому числу досок, из которых скомпоновано сечение в количестве 44 шт.).

$$\frac{h}{b} = \frac{114,4}{16} = 7,15 > 3 \quad \text{и} \quad 7,15 < 10$$

Контрольная проверка несущей способности балки из условия прочности по нормальным напряжениям будет содержать уже определенные ранее параметры, а также полученное значение $h = 114,4$ см и реальное значение $m_b = 0,814$.

$$M = 44100 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 4410000 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

$$W_{расч} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{16 \cdot 114,4^2}{6} = 34899,6 \text{ см}^3$$

$$R_{и} = R_{и}^{таб} \cdot m_b \cdot m_{cl} = 150 \cdot 0,814 \cdot 1,05 = 128,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

$$\frac{M}{W_{расч}} = \frac{4410000}{34899,6} = 126,4 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < R_{и} = 128,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

(недонапряжение 1,4%)

Прочность обеспечена.

2.2. Проверка прочности балки по касательным напряжениям.

$$\frac{Q \cdot S_{бр}}{I_{бр} \cdot b_{расч}} \leq R_{ск}$$

$$Q = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{1800 \cdot 14}{2} = 12600 \text{ кгс}$$

$$S_{\text{бр}} = \frac{b \cdot h^2}{8} = \frac{16 \cdot 114,4^2}{8} = 26174 \text{ см}^3$$

$$I_{\text{бр}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{16 \cdot 114,4^3}{12} = 1996258 \text{ см}^4$$

$$b_{\text{расч}} = b = 16 \text{ см}$$

$$R_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^{\text{таб}} \cdot m_{\text{сл}} = 15 \cdot 1,05 = 15,75 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

$$R_{\text{ск}}^{\text{таб}} = 15 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (табл. 3 [5])}$$

$$\frac{Q \cdot S_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}} \cdot b_{\text{расч}}} = \frac{12600 \cdot 26174}{1996258 \cdot 16} = 10,3 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < R_{\text{ск}} = 15,75 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Прочность обеспечена.

2.3. Проверка устойчивости плоской формы деформирования балки.

$$\frac{M}{\varphi_m \cdot W_{\text{бр}}} \leq R_{\text{и}}$$

$$M = 4410000 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

$$W_{\text{бр}} = 34899,6 \text{ см}^3$$

$$R_{\text{и}} = 128,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

$$\varphi_m = 140 \cdot \frac{16^2}{l_p \cdot h \cdot m_b} \cdot K_{\phi} = 140 \cdot \frac{16^2}{300 \cdot 114,4 \cdot 0,814} \cdot 1,138 = 1,460$$

m_b - принимается согласно п.4.25 [6].

$$b = 16 \text{ см}$$

$$l_p = 3 \text{ м} = 300 \text{ см}$$

$$h = 114,4 \text{ см}$$

$$K_{\phi} = 1,75 - 0,75 \cdot \alpha = 1,75 - 0,75 \cdot 0,816 = 1,138$$

$$\alpha = \frac{M_p}{M} = \frac{3600000}{4410000} = 0,816$$

$$M_p = \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L^2}{4} - l_p^2 \right) = \frac{1800}{2} \cdot \left(\frac{14^2}{4} - 3^2 \right) = 36000 \text{ кгс} \cdot \text{м} =$$

$$= 3600000 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

$$\frac{M}{\varphi_m \cdot W_{\text{тр}}} = \frac{4410000}{1,460 \cdot 34899,6} = 86,5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < R_{\text{и}} = 128,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Устойчивость обеспечена.

2.4. Проверка жесткости балки.

$$f = \frac{f_0}{K} \cdot \left[1 + C \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right] \leq f_u$$

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^H \cdot L^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,2 \cdot 1400^4}{10^5 \cdot 1996258} = 2,6 \text{ см}$$

$$q^H = (g^H + S_{дл}) \cdot B = (50 + 120) \cdot 6 = 1020 \frac{\text{кгс}}{\text{м}} = 10,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}}$$

$$S_{дл} = 0,5 \cdot S = 0,5 \cdot 240 = 120 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} \text{ (п. 1.7, к [7])}$$

$$E = 10000 \text{ МПа} = 10^5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (п. 3.5 [5])}$$

$$I = I_{6p} = 1996258 \text{ см}^4$$

$$K = 1 \text{ (п. 4.33 [5])}$$

$$C = 15,4 + 3,8 \cdot \beta = 19,2 \text{ (п. 4.33 [5])}$$

$$f_u = 5,33 \text{ см}$$

Интерполяция между:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = 12 \text{ м}; f_u = \frac{1}{250} = 0,048 \text{ м} = 4,8 \text{ см} \\ L = 24 \text{ м}; f_u = \frac{1}{300} = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ см} \\ L = 14 \text{ м}; f_u = 5,33 \text{ см} \end{array} \right\}$$

$$h = 114,4 \text{ см}$$

$$L = 14 \text{ м} = 1400 \text{ см}$$

$$f = \frac{2,6}{1} \cdot \left[1 + 19,2 \cdot \left(\frac{114,4}{1400} \right)^2 \right] = 2,9 < f_u = 5,33 \text{ см}$$

Жесткость обеспечена.

3. Расчет балки в условиях пожара.

Сечение балки, находящейся в условиях стандартного теплового воздействия по ГОСТ 30247.0-94 [2] (в условиях пожара) проверяется исходя из тех же основных условий, что и сечение балки, находящейся в нормальных условиях эксплуатации, но с учетом влияния высокой температуры на механические свойства древесины, геометрические характеристики сечения, а также с учетом внесения поправок в расчетные нагрузки и при обеспечении ряда дополнительных требований.

3.1. Проверка прочности балки по нормальным напряжениям.

$$\frac{M_{\Pi}}{W_{\Pi}} \leq R_{и,\Pi}$$

$$M_{\Pi} = \frac{q_{н,\Pi} \cdot L^2}{8} = \frac{1308 \cdot 14^2}{8} = 32046 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 3204600 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

$$q_{н,\Pi} = (g_{н} + S_{н}) \cdot B = (50 + 168) \cdot 6 = 1308 \frac{\text{кгс}}{\text{м}} \text{ (п. 1.3 [7])};$$

$$S_{н} = S \cdot 0,7 = 240 \cdot 0,7 = 168 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} \text{ (п. 5.7 [7])}$$

$$R_{и,\Pi} = R_{и}^н \cdot m_b \cdot m_{сл} \cdot K_R = 270 \cdot 0,814 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 184,6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

$$R_{и}^н = 270 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (прил. 2 [5])}$$

Коэффициент снижения несущей способности древесины при огневом воздействии на нее:

$$K_R = 0,8 \text{ (см. табл. 8 Прил. 2 настоящих указаний)}$$

Полагая, что верхняя грань балки не подвержена воздействию огня, поскольку защищена конструкцией покрытия с подшивкой из негорючих стекломагнезитовых листов, расчет геометрических характеристик обугленного сечения производим с учетом обугливания с 3-х сторон (рис.2).

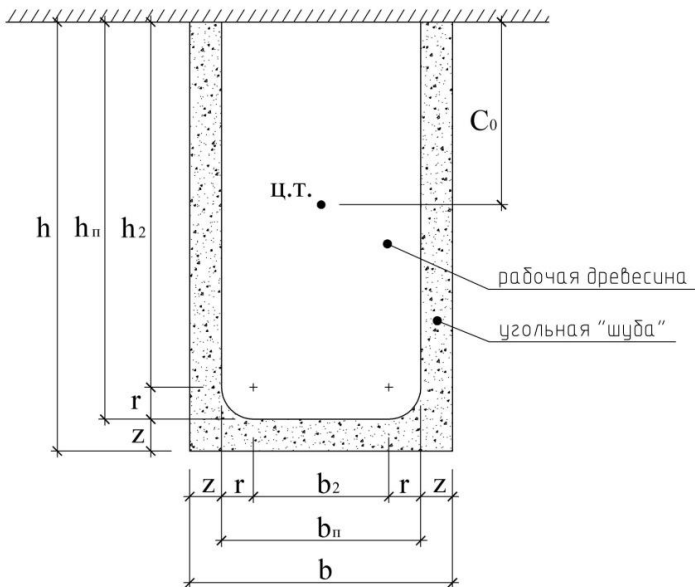


Рисунок 2. Поперечное сечение балки после обугливания.

Поскольку деревянные конструкции обработаны вспучивающейся лаковой композицией, обеспечивающей требуемый класс пожарной опасности конструкции (п.5.1 [8] и 10.5 [4]) время от начала теплового воздействия до воспламенения древесины конструкции принимаем $\tau_f = 8$ мин (табл. 3 прил. 1 настоящих указаний или табл.9.3.17 [9]). Тогда минимальное требуемое время от начала воспламенения элемента при пожаре до наступления момента, соответствующего требуемому пределу огнестойкости:

$$\tau_f = P_{тр} - \tau_0 = 30 \text{ мин} - 8 \text{ мин} = 22 \text{ мин}$$

Геометрические характеристики обугленного сечения определим в зависимости от скорости обугливания клееной древесины, определенной по табл. 4 Прил. 1 настоящих указаний или по таблице 9.3.16 [9]:

$$V = 0,6 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} = 0,06 \frac{\text{см}}{\text{мин}}$$

Глубина обугленного слоя по каждой грани:

$$Z_f = V \cdot \tau_f = 0,06 \cdot 22 = 1,32 \text{ см}$$

Расчетная глубина обугливания Z с учетом слоя древесины, который не сопротивляется нагрузке по причине его высокой температуры ($230 \div 250$ °C):

$$Z = Z_f + 0,5 = 1,32 + 0,5 = 1,82 \text{ см}$$

Радиус закругления ребер сечения после обугливания:

$$r = Z = 1,82 \text{ см (согласно [10])}$$

Стадия горения согласно [10] определяется в нашем случае из размера b_2 :

$$b_2 = b - 2 \cdot Z - 2 \cdot r = 16 - 2 \cdot 1,82 - 2 \cdot 1,82 = 8,72 \text{ см} > 0$$

Следовательно, элемент находится в первой стадии горения (при $b_2 < 0$ элемент переходит во вторую стадию горения, тогда одна из граней становится полукругностью; эта стадия недопустима).

$$b_n = b - 2 \cdot Z = 16 - 2 \cdot 1,82 = 12,36 \text{ см} > b_{\text{min}} = 6 \text{ см (согласно [10])}$$

$$h_2 = h - Z - r = 114,4 - 1,82 - 1,82 = 110,76 \text{ см} \approx 110,8 \text{ см}$$

$$h_n = h - Z = 114,4 - 1,82 = 112,58 \text{ см} \approx 112,6 \text{ см}$$

Площадь сечения после обугливания:

$$F_n = b_n \cdot h_n - 0,429 \cdot r^2 = 12,36 \cdot 112,6 - 0,429 \cdot 1,82 = \\ = 1390,7 \text{ см}^2 > F_{n,\min} = 50 \text{ см}^2 \text{ (согласно [10])}$$

Расстояние от защищенной грани до центра тяжести обугленного сечения:

$$C_0 = \frac{b_n \cdot \frac{h_2^2}{2} + b_2 \cdot r \cdot \left(h_2 + \frac{r}{2} \right) + \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi} + h_2 \right)}{b_n \cdot h_2 + b_2 \cdot r + \frac{\pi \cdot r^2}{2}} = \\ = \frac{12,36 \cdot \frac{110,8^2}{2} + 8,72 \cdot 1,82 \cdot \left(110,8 + \frac{1,82}{2} \right) + \frac{3,14 \cdot 1,82^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot 1,82}{3 \cdot 3,14} + 110,8 \right)}{12,36 \cdot 110,8 + 8,72 \cdot 1,82 + \frac{3,14 \cdot 1,82^2}{2}} \\ = 56,24 \text{ см}$$

Момент инерции обугленного сечения:

$$I_n = \left[\frac{b_n \cdot h_2^3}{12} + b_n \cdot h_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2} - C_0 \right)^2 \right] + \left[\frac{b_2 \cdot r^3}{12} + b_2 \cdot r \cdot \left(h_2 + \frac{r}{2} - C_0 \right)^2 \right] + \\ + \left[\frac{(9 \cdot \pi^2 - 64) \cdot r^4}{72 \cdot \pi} + \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi} + h_2 - C_0 \right)^2 \right] = \\ = \left[\frac{12,36 \cdot 110,8^3}{12} + 12,36 \cdot 110,8 \cdot \left(\frac{110,8}{2} - 56,24 \right)^2 \right] + \\ + \left[\frac{8,72 \cdot 1,82^3}{12} + 8,72 \cdot 1,82 \cdot \left(110,8 + \frac{1,82}{2} - 56,24 \right)^2 \right] + \\ + \left[\frac{(9 \cdot 3,14^2 - 64) \cdot 1,82^4}{72 \cdot 3,14} + \frac{3,14 \cdot 1,82^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot 1,82}{3 \cdot 3,14} + 110,8 - 56,24 \right)^2 \right] = \\ = 1465221 \text{ см}^4$$

Момент сопротивления обугленного сечения:

$$W_n = \frac{I_n}{h_n - C_0} = \frac{1465221,44}{112,6 - 56,24} = 26006 \text{ см}^3$$

Тогда,

$$\frac{M_{\Pi}}{W_{\Pi}} = \frac{3204600}{26006} = 123,2 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < R_{\text{и,п}} = 184,6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Прочность обеспечена.

3.2. Проверка прочности балки по касательным напряжениям

$$\frac{Q_{\Pi} \cdot S_{\text{бр,п}}}{I_{\text{бр,п}} \cdot b_{\text{расч,п}}} \leq R_{\text{ск,п}}$$
$$Q_{\Pi} = Q_{\text{н}} = \frac{q_{\text{н,п}} \cdot L}{2} = \frac{1308 \cdot 14}{2} = 9156 \text{ кгс}$$
$$b_{\text{расч,п}} = b_{\Pi} = 12,36 \text{ см}$$

Статический момент сечения относительно нейтрального слоя:

$$S_{\text{бр,п}} = \frac{b_{\Pi} \cdot C_0^2}{2} = \frac{12,36 \cdot 56,24^2}{2} = 19547 \text{ см}^3$$
$$R_{\text{ск,п}} = R_{\text{ск}}^{\text{н}} \cdot m_{\text{сл}} \cdot K_{\text{R}} = 32 \cdot 1,05 \cdot 0,33 = 11,1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$
$$R_{\text{ск}}^{\text{н}} = 32 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} \text{ (прил. 2 [5])}$$
$$K_{\text{R}} = 0,33 \text{ (см. табл. 8 Прил. 2 настоящих указаний)}$$

Тогда

$$\frac{Q_{\Pi} \cdot S_{\text{бр,п}}}{I_{\text{бр,п}} \cdot b_{\text{расч,п}}} = \frac{9156 \cdot 19547}{1465221 \cdot 12,36} = 9,88 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < R_{\text{ск,п}} = 11,1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

Прочность обеспечена.

3.3. Проверка устойчивости плоской формы деформирования балки.

$$\frac{M_{\Pi}}{\varphi_{\text{м,п}} \cdot W_{\text{бр,п}}} \leq R_{\text{и,п}}$$
$$M_{\Pi} = 3204600 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$
$$W_{\text{бр,п}} = W_{\Pi} = 26006 \text{ кгс} \cdot \text{см}^3$$
$$\varphi_{\text{м,п}} = 250 \cdot \frac{b_{\Pi}^2}{I_{\text{п}} \cdot h_{\Pi} \cdot m_{\text{б}}} \cdot K_{\text{ф}} = 250 \cdot \frac{12,36^2}{300 \cdot 112,58 \cdot 0,818} \cdot 1,138 =$$
$$= 1,573 \text{ (согласно [10])}$$

$$\frac{M_{\text{п}}}{\varphi_{\text{м,п}} \cdot W_{\text{бр,п}}} = \frac{3204600}{1,573 \cdot 26006} = 78,34 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < R_{\text{у,п}} = 184,6 \text{ кгс/см}^2$$

Устойчивость обеспечена.

3.4. Проверка жесткости балки.

$$f = \frac{f_0}{K} \cdot \left[1 + C \cdot \left(\frac{h_{\text{п}}}{L} \right)^2 \right] \leq f_{\text{у}}$$

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{\text{н,п}} \cdot L^4}{E \cdot I_{\text{п}}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{13,08 \cdot 1400^4}{0,9 \cdot 10^5 \cdot 1465221,44} = 4,96 \text{ см.}$$

где $q_{\text{н,п}} = 1308 \text{ кгс/м} = 13,08 \text{ кгс/см}$

$K = 1$ (п. 4.33 [5])

$C = 19,2$ (п. 4.33 [5])

$$f_{\text{у}} = \frac{L}{20} = \frac{1400}{20} = 70 \text{ см (Прил. А [3])}$$

$$f = f_1 = \frac{f_0}{K} \cdot \left[1 + C \cdot \left(\frac{h_{\text{п}}}{L} \right)^2 \right] = \frac{4,96}{1} \cdot \left[1 + 19,2 \cdot \left(\frac{112,6}{1400} \right)^2 \right] = 5,57 \text{ см} < f_{\text{у}} = 70 \text{ см}$$

Жесткость обеспечена.

3.5. Проверка скорости нарастания деформаций балки.

Данная проверка выполняется согласно Прил. А [101] по формуле:

$$V_f = \frac{f_2 - f_1}{1 \text{ мин}} \leq L^2 / (900 \cdot h_{\text{п}}); \text{ см/мин}$$

Для этого достаточно определить величину прогибов балки через 1 минуту после того момента времени, для которого произведем предыдущий расчет.

$$Z_f = V \cdot (\tau_f + 1) = 0,06 \cdot (22 + 1) = 1,38 \text{ см}$$

$$Z = Z_f + 0,5 = 1,38 + 0,5 = 1,88 \text{ см}$$

$$r = Z = 1,88 \text{ см}$$

$$b_2 = b - 2 \cdot Z - 2 \cdot r = 16 - 2 \cdot 1,88 - 2 \cdot 1,88 = 8,48 \text{ см}$$

$$b_{\text{п}} = b - 2 \cdot Z = 16 - 2 \cdot 1,88 = 12,24 \text{ см}$$

$$h_2 = h - Z - r = 114,4 - 1,88 - 1,88 = 110,64 \text{ см} \approx 110,6 \text{ см}$$

$$h_{\text{п}} = h - Z = 114,4 - 1,88 = 112,52 \text{ см} \approx 112,5 \text{ см}$$

$$C_0 = \frac{b_n \cdot \frac{h_2^2}{2} + b_2 \cdot r \cdot \left(h_2 + \frac{r}{2} \right) + \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi} + h_2 \right)}{b_n \cdot h_2 + b_2 \cdot r + \frac{\pi \cdot r^2}{2}} =$$

$$= \frac{12,24 \cdot \frac{110,6^2}{2} + 8,48 \cdot 1,88 \cdot \left(110,6 + \frac{1,88}{2} \right) + \frac{3,14 \cdot 1,88^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot 1,88}{3 \cdot 3,14} + 110,6 \right)}{12,24 \cdot 110,6 + 8,48 \cdot 1,88 + \frac{3,14 \cdot 1,88^2}{2}}$$

$$= 56,18 \text{ см}$$

$$I_n = \left[\frac{b_n \cdot h_2^3}{12} + b_n \cdot h_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2} - C_0 \right)^2 \right] + \left[\frac{b_2 \cdot r^3}{12} + b_2 \cdot r \cdot \left(h_2 + \frac{r}{2} - C_0 \right)^2 \right] +$$

$$+ \left[\frac{(9 \cdot \pi^2 - 64) \cdot r^4}{72 \cdot \pi} + \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi} + h_2 - C_0 \right)^2 \right] =$$

$$= \left[\frac{12,24 \cdot 110,6^3}{12} + 12,24 \cdot 110,6 \cdot \left(\frac{110,6}{2} - 56,18 \right)^2 \right] +$$

$$+ \left[\frac{8,48 \cdot 1,88^3}{12} + 8,48 \cdot 1,88 \cdot \left(110,6 + \frac{1,88}{2} - 56,18 \right)^2 \right] +$$

$$+ \left[\frac{(9 \cdot 3,14^2 - 64) \cdot 1,88^4}{72 \cdot 3,14} + \frac{3,14 \cdot 1,88^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot 1,88}{3 \cdot 3,14} + 110,6 - 56,18 \right)^2 \right] =$$

$$= 1436434 \text{ см}^4$$

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{нп} \cdot L^4}{E \cdot I_n} = \frac{5}{384} \cdot \frac{13,08 \cdot 1400^4}{0,9 \cdot 10^5 \cdot 1436434} = 5,06 \text{ см.}$$

$$f_2 = \frac{f_0}{K} \cdot \left[1 + C \cdot \left(\frac{h_n}{L} \right)^2 \right] = \frac{5,06}{1} \cdot \left[1 + 19,2 \cdot \left(\frac{112,5}{1400} \right)^2 \right] = 5,69 \text{ см}$$

Скорость деформации (нарастание прогиба):

$$V_f = \frac{f_2 - f_1}{1 \text{ мин}} = \frac{5,69 - 5,57}{1 \text{ мин}} = 0,12 \frac{\text{см}}{\text{мин}} \leq \frac{L^2}{9000 \cdot h_n} = \frac{1400^2}{9000 \cdot 112,5}$$

$$= 1,94 \frac{\text{см}}{\text{мин}}$$

Жесткость (по скорости нарастания деформаций) обеспечена.

Таким образом, никакой дополнительной конструктивной защиты для повышения предела огнестойкости балки, кроме имеющейся лаковой композиции, не требуется.

Список литературы

1. Федеральный закон №123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 01.05.2009г.
2. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования/Минстрой России. – М.: Издательство стандартов, 1996.-6с.
3. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции/Минстрой России. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1995.-4с.
4. ГОСТ 30403-96. Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности/Минстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1996.–8с.
5. СНиП П-25-80*. Деревянные конструкции. Нормы проектирования/Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982.–31с.
6. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП П-25-80) / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216с.
7. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия/Госстрой СССР. – М.: ГУП ЦПП, 2003.–44с.
8. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений/Минстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002.-23с.
9. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий: Учебник /В.М. Ройтман. – М.: изд-во Ассоциация “Пожарная безопасность и наука”, 2001 г.-382с., ил.
10. Кормаков Л.И., Валентинавичюс А.Ю. Проектирование клееных деревянных конструкций. – К.:Будівельник, 1983.-152 с., ил. – (Б-ка строителя). – Библиогр.: с.151-152.
11. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций: М.: ЗАО “Спецтехника”, 2001. – 496 с., илл.

Приложение 1

Вариант №	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пролет несущей балки, L (м)	14	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	23,5	22,5
Снеговой район строительства	IV	V	VI	VII	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I	II	III	IV	V
Требуемый предел огнестойкости, П _{тр} (мин)	30	15	30	45	60	90	120	90	60	45	30	15	30	45	60	90

Вариант №	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Пролет несущей балки, L(м)	21,5	20,5	19,5	18,5	17,5	16,5	15,5	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	
Снеговой район строительства	VI	VII	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I	II	III	IV	V	VI	
Требуемый предел огнестойкости, П _{тр} (мин)	120	90	60	45	30	15	30	45	60	90	120	90	60	45	30	

Приложение 2

*Таблица 1. Сортамент пиломатериалов хвойных пород (ГОСТ 24454-80*Е)*

Толщина, мм	Ширина, мм								
	75	100	125	150	–	–	–	–	–
16	75	100	125	150	–	–	–	–	–
19	75	100	125	150	175	–	–	–	–
22	75	100	125	150	175	200	225	–	–
25	75	100	125	150	175	200	225	250	275
32	75	100	125	150	175	200	225	250	275
40	75	100	125	150	175	200	225	250	275
44	75	100	125	150	175	200	225	250	275
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100	–	100	125	150	175	200	225	250	275
125	–	–	125	150	175	200	225	250	–
150	–	–	–	150	175	200	225	250	–
175	–	–	–	–	175	200	225	250	–
200	–	–	–	–	–	200	225	250	–
250	–	–	–	–	–	–	–	250	–

Дополнительно возможно применять ширину исходных досок 120, 140, 160, 180 мм.

Таблица 2. Расчетные снеговые нагрузки (СНиП 2.01.07-85)

Снеговые районы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S_g , кПа (кгс/м ²)	0,8 (80)	1,2 (120)	1,8 (180)	2,4 (240)	3,2 (320)	4,0 (400)	4,8 (480)	5,6 (560)

Таблица 3. Нормативные сопротивления древесины сосны (СНиП II-25-80)*

Вид напряженного состояния	Нормативные, МПа (кгс/см ²), древесины сорта		
	1	2	3
Изгиб при нагружении пласти	30 (300)	27 (270)	20 (200)
Скалывание вдоль волокон	3,6 (36)	3,2 (32)	3,2 (32)

Таблица 4. Значения коэффициента m_6 (СНиП II-25-80*)

Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент m_6	1	0,96	0,93	0,90	0,85	0,8

Таблица 5. Расчетные сопротивления древесины сосны (СНиП II-25-80*)

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа / кгс/см ² , для сортов древесины		
		1	2	3
Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:				
а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах «б»), «в») высотой до 50 см	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{14}{140}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{8,5}{85}$
б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{14}{140}$	$\frac{10}{100}$
в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13 до 50 см	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{16}{160}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{11}{110}$
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	–	$\frac{16}{160}$	$\frac{10}{100}$
Скалывание вдоль волокон:				
а) при изгибе неклееных элементов	$R_{ск}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,6}{16}$
б) при изгибе клееных элементов	$R_{ск}$	$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,5}{15}$	$\frac{1,5}{15}$
в) в лобовых врубках для максимального напряжения	$R_{ск}$	$\frac{2,4}{24}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	$R_{ск}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$

Таблица 6. Скорость обугливания древесины сосны при влажности > 9%

Наименьшая сторона сечения элемента, мм	Скорость обугливания древесины, мм/мин	
	клееной	цельной
≥120	0,6	0,8
<120	0,7	1,0

Таблица 7. Время от начала теплового воздействия до воспламенения древесины в зависимости от способа огнезащиты

Способ огнезащиты	Время до воспламенения древесины, мин
Без огнезащиты и при пропитке антипиренами	4
Штукатурка цементная по металлической сетке 10-15 мм	30
Вспучивающиеся покрытия (ВПД, ОФП-9)	8

Таблица 8. Поправочные коэффициенты к нормативным сопротивлениям древесины при огневом воздействии

Вид напряженного состояния	Коэффициент
Изгиб	0,8
Сжатие и растяжение вдоль волокон	1,0
Скалывание вдоль волокон цельной древесины	0,85
Скалывание вдоль волокон клееной древесины	0,33

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Задание для расчета	4
2. Расчет балки в нормальных условиях эксплуатации	6
2.1. Проверка прочности балки по нормальным напряжениям	6
2.2. Проверка прочности балки по касательным напряжениям	7
2.3. Проверка устойчивости плоской формы деформирования	8
2.4. Проверка жесткости балки	9
3. Расчет балки в условиях пожара	9
3.1. Проверка прочности балки по нормальным напряжениям	10
3.2. Проверка прочности балки по касательным напряжениям	13
3.3. Проверка устойчивости плоской формы деформирования	13
3.4. Проверка жесткости балки	14
3.5. Проверка скорости нарастания деформаций балки	14
Список литературы	16
Приложение 1	17
Приложение 2	18

Алексей Владимирович Крицин

РАСЧЕТ КЛЕЕНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ

Методические указания для решения задач в рамках дисциплины
“Проектирование деревянных конструкций с учетом требований
огнестойкости” для студентов 5-го курса по специальности 270102.65 –
“Промышленное и гражданское строительство”

ЛР №	от				
Подписано в печать	Формат	Бумага	газетная.	Печать	
офсетная.					
Усл. п.л.	Уч.изд.л.	Тираж	экз.	Заказ №	
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 603950 г.Н.Новгород, ул.Ильинская, 65					
Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.					