

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 09.03.2022 14:40:56
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb75e745a144851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра промышленного и гражданского строительства

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
«Юго-Западный государственный университет»
2022г.



Расчёт элементов деревянных конструкций

Методические указания для практических занятий по дисциплине
«Проектирование металлических и деревянных конструкций»
для студентов направления подготовки 08.04.01

Курск 2022

УДК 69.07

Составитель: А.В. Масалов

Рецензент

Кандидат экономических наук, доцент А.В. Шлеенко

Расчёт элементов деревянных конструкций: методические указания для практических занятий по дисциплине «Проектирование металлических и деревянных конструкций» для студентов направления подготовки 08.04.01 / Юго-Зап. гос. ун-т; сост: А.В. Масалов, Курск, 2022. - 25 с. - Библиогр.: с. 25.

Приведены примеры решения задач и задания для практической самостоятельной работы по расчёту элементов деревянных конструкций.
Предназначены для студентов направления обучения 08.04.01.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.Печ.Лист. 1,45 Уч.-изд.л 1,32. Тираж 50 экз. Заказ *300* Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Расчёт на прочность при растяжении	5
2 Расчёт балки	8
3 Расчёт стойки цельного сечения на устойчивость	11
4 Расчёт составной стойки на устойчивость	14
5 Расчёт криволинейного изгибаемого элемента	17
6 Расчёт клефанерной плиты	19
7 Расчёт трёхслойной плиты покрытия из плоских асбестоцементных листов и пенопласта	23
Библиографический список	25

Введение

Методические указания предназначены для овладения практическими методами расчета элементов, соединений и конструкций из древесины и композиционных материалов. Методические указания содержат задачи в соответствии с теоретическим курсом дисциплины, которые способствуют более полному усвоению тем этой программы.

К каждой теме практических занятий даны основные формулы и пояснения к ним, пример решения одного варианта задачи и контрольные задачи, решения которых осуществляется на практических занятиях по дисциплине.

Номера таблиц и пунктов, указанные в примерах и порядках решений, соответствуют обозначениям в СП64.13330.2017 Деревянные конструкции

Номера вариантов заданий для самостоятельного решения выдаёт преподаватель.

1. Расчёт на прочность при растяжении

Расчётное сопротивление древесины на растяжение R_p определяют по формуле

$$R_p = R_p^A m_{дл} \cdot Пm_i$$

где R_p^A – кратковременное расчётное сопротивление древесины по Табл.3 (стр.5)- здесь и далее ссылки на СП64.13330.2017

$m_{дл}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности загрузки (Табл. 4, стр.7);

$Пm_i$ - произведение коэффициентов условий работы (п.6.9) и коэффициента породы (Табл.5, стр.8).

Условие прочности при растяжении

$$\sigma_p = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_p,$$

где N – растягивающее усилие;

$F_{нт}$ – площадь поперечного сечения, нетто.

При определении $F_{нт}$ ослабления, расположенные на участке длиной не более 200 мм, следует принимать совмещенными в одном сечении.

Задача

Подобрать сечение нижнего пояса фермы из клеёной древесины сосны 1 сорта. Растягивающее усилие $N=100$ кН. Эксплуатационная влажность древесины не более 15%, $h=150$ мм. Расчётный срок службы до 50 лет. Тип длительности нагружения - совместное действие постоянной, длительной временной нагрузок и нагрузок от людей на перекрытия жилых и общественных зданий. Толщина слоя 33 мм

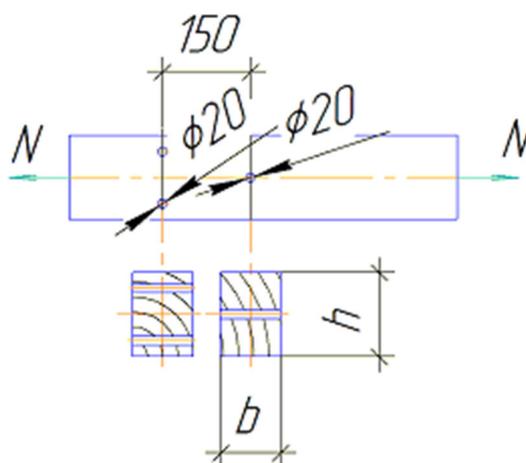


Рис.1.1 Расчётная схема к примеру расчёта на растяжение деревянного элемента

Решение

Расчётное сопротивление растяжению клеёной древесины $R_p^A = 18$ МПа (Табл. 3)

Коэффициенты условий работы:

условий эксплуатации

для температурно-влажностных условий эксплуатации 3 (влажных)
 $m_{в} = 0,9$; (Табл. 1, стр.4 и 9, стр.14);

для элементов с отверстиями $m_0 = 0,8$: (п.6.9Г, стр.13);

режима нагружения В $m_{дл} = 0,66$ (Табл.4, стр.7)

надёжности по сроку службы $m_{сс} = 1,0$ (Табл.13, стр.14)

слоя $m_{сл} = 1,0$ (Табл.11, стр.14)

породы $m_{п} = 1,0$ (Табл.5, стр.8)

$$R_p = R_p^A \cdot m_{дл} \cdot m_0 \cdot m_{сс} \cdot m_{сл} \cdot m_{в} \cdot m_{п} = 18 \cdot 0,66 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 8,55 \text{ МПа}$$

$$F_{гр} = \frac{N}{R_p} = \frac{100}{8550} = 0,0117 \text{ м}^2$$

Так как расстояние между отверстиями вдоль волокон менее 200 мм, то ослабления отверстиями совмещаем в одном сечении. Расчётная площадь сечения

$$F = b(h - 3d) = b(0,15 - 3 \cdot 0,02) = 0,09b$$

$$b = \frac{0,0117}{0,09} = 0,130\text{м}$$

Примем 130мм.

Самостоятельно

Подобрать квадратное сечение из клеёной древесины 2 сорта

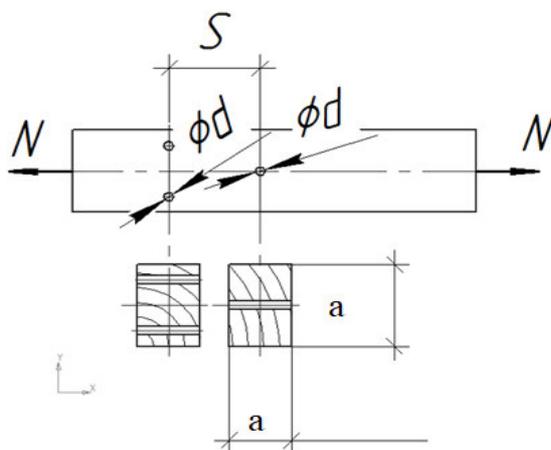


Рис.1.2. Расчётная схема к самостоятельному расчёту на растяжение деревянного элемента

Варианты для самостоятельного решения выбрать из списка группы

Вариант	N, кН	Порода	Эксплуатационная влажность, %	Расчётный срок службы, лет	S, мм	d, мм
1, 19	100	Сосна	6	До 50	100	12
2, 20	110	Ель	10	50-100	120	14
3, 21	120	Акация	14	Более 100	150	16
4, 22	130	Лиственница	18	До 50	180	18
5	140	Берёза	22	50-100	200	20
6	150	Бук	7	Более 100	220	22
7	160	Дуб	11	До 50	250	24
8	180	Тополь	10	До 50	180	20
9	100	Сосна	6	До 50	100	12
10	110	Ель	10	50-100	120	14
11	120	Акация	14	Более 100	150	16

Вариант	N, кН	Порода	Эксплуатационная влажность, %	Расчётный срок службы, лет	S, мм	d, мм
12	130	Лиственница	18	До 50	180	18
13	140	Берёза	22	50-100	200	20
14	150	Бук	7	Более 100	220	22
15	160	Дуб	11	До 50	250	24
16	180	Тополь	10	До 50	180	20
17	200	Лиственница	15	До 50	150	12
18	190	Сосна	12	100	160	14

2. Расчёт балки

Подобрать размеры сечения однопролётной шарнирно опертой деревянной клеёной балки, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой:

- 1) из условия прочности по нормальным напряжениям;
 - 2) из условия прочности по касательным напряжениям
 - 3) из условия предельного прогиба $[1/200L]$;
 - 4) подобрать размер опорной пластины из условия прочности на смятие
 - 5) оценить влияние учёта сдвига на определение прогиба
- Древесина сосны 2 сорта, толщина слоя 33мм. Режим нагружения по длительной прочности - В, $m_{дл}=0,66$ (Таблица 4, стр.9)

Примерный ход решения

Примем коэффициенты все коэффициенты условий работы равными 1, в том числе:

коэффициент условий эксплуатации (Табл.9, стр.14) $m_v=1$;

коэффициент слоя (Табл.11, стр. 14) $m_{сл}=1$

Определим расчётные изгибающий момент и поперечное усилие:

$$M = \frac{qL^2}{8};$$

$$Q = \frac{qL}{2}$$

- 1) Примем соотношение высоты и ширины сечения балки $h/b=3$, $h=3b$, тогда, условие прочности по нормальным напряжениям при изгибе запишем как

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6M}{b \cdot (3b)^2} \leq R_{\text{и}}^A m_{\text{дл}} m_{\text{в}} m_{\text{сл}}$$

$$R_{\text{и}}^A = 21 \text{ МПа} = 21000 \text{ кПа (Табл.3, стр.7)}$$

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{6M}{9R_{\text{и}}^A m_{\text{дл}} m_{\text{в}} m_{\text{сл}}}}$$

Округляем b до 10 мм, $h=3b$

2) Проверим условие прочности по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{3Q}{2bh} \leq R_{\text{ск}}^A m_{\text{дл}} m_{\text{в}} m_{\text{сл}}$$

$$R_{\text{ск}}^A = 2,25 \text{ МПа (Табл. 3, стр.7)}$$

Если условие не выполняется – увеличиваем размер сечения.

3) Условие прочности при смятии древесины на опоре

$$\sigma_{\text{см90}} = \frac{Q}{bs} \leq R_{\text{см}}^A m_{\text{дл}} m_{\text{в}} m_{\text{сл}}$$

где s – длина опорной пластины;

$$R_{\text{см90}}^A = 4,5 \text{ МПа (Табл. 3, стр.7)}$$

$$s \geq \frac{Q}{R_{\text{см}}^A m_{\text{дл}} m_{\text{в}} m_{\text{сл}} b}$$

Округляем s до 10 мм.

4) Проверка из условия прогиба с учётом влияния сдвига:

$$\frac{f}{L} = \frac{5}{384} \frac{q_2 L^3}{EJ} \left[1 + 19,2 \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right] \leq \left[\frac{f}{L} \right]$$

Модуль упругости принимаем $E=10^4 \text{ МПа}$

$$\text{Момент инерции сечения } J = \frac{bh^3}{12}$$

5) Относительный прогиб балки без учёта влияния сдвига

$$\frac{f}{L} = \frac{5}{384} \frac{q_2 L^3}{EJ}$$

Если проверка не выполняется – увеличить сечение.

Самостоятельно

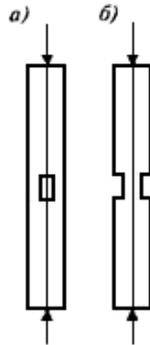
<i>Сту- дент</i>	<i>Пролёт L, м</i>	<i>q, кН/м (расчётная по 1 группе предельных состояний)</i>	<i>q₂, кН/м (расчётная по 2 группе предельных состояний)</i>	<i>Условия экс- плуатации Табл.9, стр.14</i>	<i>Толщина слоя Табл.11, стр. 14</i>
1.	6,0	3,3	2,5	1	19
2.	5,5	3,2	2,3	3	26
3.	5,0	3,3	2,2	4	33
4.	4,5	3,1	2,2	2	42
5.	4,0	3,0	2,3	1	19
6.	3,5	4,0	3,1	3	26
7.	3,0	3,9	3,0	4	33
8.	6,0	3,9	3,0	2	42
9.	5,5	3,8	2,9	1	19
10.	5,0	3,7	2,8	3	26
11.	4,5	3,6	2,7	4	33
12.	4,0	3,5	2,7	2	42
13.	3,5	3,4	2,7	1	19
14.	3,0	3,1	2,4	3	26
15.	4,0	3,0	2,2	4	33
16.	3,5	4,0	3,0	2	42
17.	3,0	3,9	2,9	1	19
18.	6,0	3,6	2,8	3	26
19.	5,5	3,5	2,7	4	33
20.					

3 Расчёт стойки цельного сечения на устойчивость

Условие устойчивости

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F_{\text{рас}}} \leq R_c$$

$F_{\text{рас}}$ – расчётная площадь сечения элемента принимаемая равной
 - при ослаблениях, не выходящих на кромки, если их площадь не превышает 25% $F_{\text{бр}}$, то $F_{\text{расч}} = F_{\text{бр}}$, если площадь ослаблений превышает 25% $F_{\text{бр}}$, то $F_{\text{расч}} = 4/3 F_{\text{нт}}$, при симметричных ослаблениях, выходящих на кромки элемента $F_{\text{расч}} = F_{\text{нт}}$.



а - не выходящие на кромку; б - выходящие на кромку

Для $\lambda > 70$ $\varphi = \frac{3000}{\lambda^2}$; Для $\lambda \leq 70$ $\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2$.

μ – коэффициент приведения длины стержня, принимаемый равным $\mu=1$ при шарнирно закреплённых концах, при одном шарнирно закреплённом, а другом защемлённом конце $\mu=0,8$, при одном защемлённом, а другом свободном конце $\mu=2,2$, при обоих защемленных концах $\mu=0,65$.

Пример

Подобрать сечение стойки из цельной древесины ели 3 сорта, длиной 3м с шарнирно закреплёнными концами. Стойка круглого сечения диаметром d не имеет ослаблений и нагружена силой $N=400$ кН. Условия эксплуатации 1 (Таблица 1 СП 64.13330.17, стр.4.), для условий эксплуатации 1 коэффициент условий эксплуатации к расчётному сопротивлению $m_b=1$ (Таблица 9 СП 64.13330.17, стр.13). Режим длительности нагружения В, $m_{дл}=0,66$ (Таблица 4 СП 64.13330.17, стр.7). Коэффициент породы $m_{п}=1$ (Таблица 5 СП 64.13330.17, стр.8).

Решение

Кратковременное расчётное сопротивление древесины ели на сжатие $R_c^A=15$ МПа (Табл.3 стр.6). Расчётное сопротивление на сжатие $R_c = R_c^A m_{дл} m_b m_{п} = 15 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 1 = 9,9$ МПа

Первое приближение

Предварительно зададимся гибкостью $\lambda=80$. Коэффициент продольного изгиба, при $\lambda>70$

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{80^2} = 0,47,$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi R_c} = \frac{400}{0,47 \cdot 9900} = 0,086 \text{ м}^2$$

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{тр}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,086}{3,14}} = 0,331 \text{ м}$$

Примем $d=0,33 \text{ м}$

Проверка

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,33^2}{4} = 0,085 \text{ м}^2$$

$r=0,25 \cdot d=0,25 \cdot 0,33=0,0825 \text{ м}$. (Для квадратного сечения $r=0,29d$)

$$L=3 \text{ м}. \lambda = \frac{L}{r} = \frac{3}{0,0825} = 36 < 70$$

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{36}{100} \right)^2 = 0,9$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} = \frac{400}{0,9 \cdot 0,085} = 5229 \text{ кПа} \ll 9900 \text{ кПа}$$

Второе приближение

Зададимся гибкостью $\lambda = \frac{80+36}{2} = 58$

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \left(\frac{58}{100} \right)^2 = 0,731$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi R_c} = \frac{400}{0,731 \cdot 9900} = 0,0553 \text{ м}^2$$

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{тр}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0553}{3,14}} = 0,265 \text{ м}. \text{ Примем } d=0,26 \text{ м}$$

Проверка

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,26^2}{4} = 0,0531 \text{ м}^2$$

$r=0,25 \cdot d=0,25 \cdot 0,26=0,065 \text{ м}$. (Для квадратного сечения $r=0,29d$)

$$L=3 \text{ м}. \lambda = \frac{L}{r} = \frac{3}{0,065} = 46 < 70$$

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \left(\frac{46}{100} \right)^2 = 0,831$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} = \frac{400}{0,831 \cdot 0,0531} = 9064 \text{ кПа} < 9900 \text{ кПа}$$

Условие устойчивости выполняется

Самостоятельно

<i>Вариант</i>	<i>Порода</i>	<i>Ослабления сечения</i>	<i>N,кН</i>	<i>L, м</i>	<i>Сечение</i>
1	<i>Сосна</i>	<i>Нет</i>	50	5	<i>Круглое</i>
2	<i>Ель</i>	<i>Не выходят на кромки, не более 25% F_{бр}</i>	60	4,9	<i>Квадратное</i>
3	<i>Ель</i>	<i>Не выходят на кромки, более 25% F_{бр}</i>	70	4,8	<i>Круглое</i>
4	<i>Акация</i>	<i>Симметрично выходят на кромки 10% F_{бр}</i>	80	4,7	<i>Квадратное</i>
5	<i>Лиственница</i>	<i>Нет</i>	90	4,6	<i>Круглое</i>
6	<i>Берёза</i>	<i>Не выходят на кромки, не более 25% F_{бр}</i>	100	4,5	<i>Квадратное</i>
7	<i>Бук</i>	<i>Не выходят на кромки, более 25% F_{бр}</i>	110	4,6	<i>Круглое</i>
8	<i>Ель</i>	<i>Симметрично выходят на кромки 10% F_{бр}</i>	120	4,4	<i>Квадратное</i>
9	<i>Акация</i>	<i>Нет</i>	130	4,3	<i>Круглое</i>
10	<i>Лиственница</i>	<i>Не выходят на кромки, более 25% F_{бр}</i>	140	4,2	<i>Квадратное</i>
11	<i>Берёза</i>	<i>Симметрично выходят на кромки 10% F_{бр}</i>	150	4,1	<i>Круглое</i>
12	<i>Бук</i>	<i>Нет</i>	160	4,0	<i>Квадратное</i>
13	<i>Дуб</i>	<i>Не выходят на кромки, не более 25% F_{бр}</i>	170	3,9	<i>Круглое</i>
14	<i>Ель</i>	<i>Не выходят на кромки, более 25% F_{бр}</i>	180	3,8	<i>Квадратное</i>
15	<i>Акация</i>	<i>Симметрично выходят на кромки 10% F_{бр}</i>	190	3,7	<i>Круглое</i>

Вариант	Порода	Ослабления сечения	N,кН	L, м	Сечение
16	Лиственница	Нет	200	3,6	Квадратное
17	Берёза	Не выходят на кромки, не более 25% $F_{бр}$	210	3,5	Круглое
18	Бук	Не выходят на кромки, более 25% $F_{бр}$	220	3,4	Квадратное
19	Дуб	Симметрично выходят на кромки 10% $F_{бр}$	230	3,3	Круглое
20	Сосна	Нет	240	3,2	Квадратное
21	Ель	Не выходят на кромки, не более 25% $F_{бр}$	259	3,1	Круглое

4 Расчёт составной стойки на устойчивость

Цельная древесина сосны ($m_{п}=1$) 2 сорта, класс условий эксплуатации 1 ($m_{в}=1$), Режим нагружения Г ($m_{дл}=0,66$), диаметр отверстия под болт – 14 мм

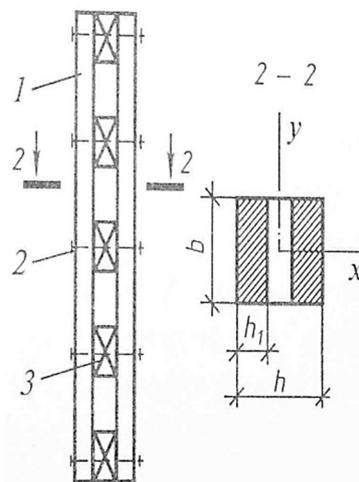


Рис.4.1. Схема составной стойки

Порядок расчёта

Определить гибкость стойки относительно оси x

$$\lambda_x = \frac{\mu_x l}{r_x}$$

$\mu_x = 1$ – коэффициент приведения длины стойки

$$r_x = \sqrt{\frac{2h_1 b^3}{12 \cdot 2h_1 b}} - \text{радиус инерции сечения относительно оси } x$$

Несущая способность по устойчивости относительно оси x

$$N_x = R_c \varphi_x F_p$$

Коэффициент продольного изгиба относительно оси x

$$\varphi_x = \frac{3000}{\lambda_x^2} \text{ при } \lambda_x \geq 70; \quad \varphi_x = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda_x}{100} \right)^2, \text{ при } \lambda_x < 70$$

Кратковременное расчётное сопротивление древесины сжатие R_c^A (Табл.3 стр.6).

Расчётное сопротивление на сжатие $R_c = R_c^A m_{дл} m_{в} m_{п}$

F_p принять по п.7.2: $F_p = F_{бр} = 2bh$

Определить гибкость составной стойки относительно оси y

$$\lambda_{пр,y} = \sqrt{(\mu_y \lambda_y)^2 + \lambda_1^2}$$

$$\mu_y = \sqrt{1 + \frac{k_c b h n_{ш}}{l^2 n_c}}$$

где μ_y - коэффициент приведения гибкости

k_c - коэффициент податливости соединений: для болтов

$$\text{при } \frac{d}{h_1} \leq \frac{1}{7} \quad k_c = \frac{0,2}{d^2}$$

$$\text{при } \frac{d}{h_1} > \frac{1}{7} \quad k_c = \frac{1,5}{h_1 d}$$

$n_{ш}$ - число плоскостей сдвига (швов),

для двух брусьев с прокладками $n_{ш}=2$;

l - длина стойки;

n_c - число болтов и гвоздей на 1 метре длины;

d - диаметр болта в см

$$\lambda_y = \frac{l}{r_y}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{2\left(\frac{bh_1^3}{12} + h_1 b \left(\frac{h-2h_1}{2} + \frac{h_1}{2}\right)^2\right)}{2bh_1}} = \sqrt{\frac{2\left(\frac{bh_1^3}{12} + h_1 b \left(\frac{h}{2} - \frac{h_1}{2}\right)^2\right)}{2bh_1}}$$

λ_1 - гибкость одного бруса, относительно собственной центральной оси, параллельной y , как шарнирно опёртого на длине, равной шагу болтов, s .

$$\lambda_1 = \frac{s}{r_1}, \quad r_1 = \sqrt{\frac{bh_1^3}{12 bh_1}}$$

Коэффициент продольного изгиба φ_y определяют в зависимости от $\lambda_{пр,y}$ по формулам

$$\varphi_y = \frac{3000}{\lambda_{пр}^2} \quad \text{при } \lambda_{пр} \geq 70 \quad \text{и} \quad \varphi_y = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda_{пр}}{100} \right)^2 \quad \text{при } \lambda_{пр} < 70$$

Несущая способность по устойчивости относительно оси у

$$N_y = R_c \varphi_y F_p$$

Принять несущую способность стойки N равной меньшему значению из $N_{ух}$ и N_y

Самостоятельно

Вариант	<i>b</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>h_l</i> , мм	<i>l</i> , мм	Шаг болтов <i>s</i> , мм
1.	100	110	32	3000	500
2.	110	140	32	3100	600
3.	110	120	32	3200	700
4.	120	120	32	3300	400
5.	130	150	40	3400	300
6.	140	160	40	3500	700
7.	150	180	50	3600	400
8.	160	170	50	3700	300
9.	180	180	60	3800	500
10.	100	120	50	3900	600
11.	110	110	32	4000	700
12.	110	130	32	3000	400
13.	120	140	50	3100	300
14.	130	120	32	3200	700
15.	140	140	32	3300	400
16.	150	150	50	3400	300
17.	160	160	50	3600	400
18.	180	150	50	3700	300
19.	170	160	50	3800	700
20.	160	160	50	3900	400
21.	150	160	50	4000	300
22.	140	160	50	3900	300
23.	130	150	40	4000	400

5 Расчёт криволинейного изгибаемого элемента

Расчитать деревянную клеёную бесшарнирную арку без затяжки на двух опорах по краям пролёта, нагруженную сосредоточенной силой Р в середине пролёта. Определить величину допускаемой нагрузки Р

- из условия прочности по тангенциальным нормальным напряжениям на внутренней и внешней краях бруса;
- из условия прочности по максимальным радиальным нормальным напряжениям;

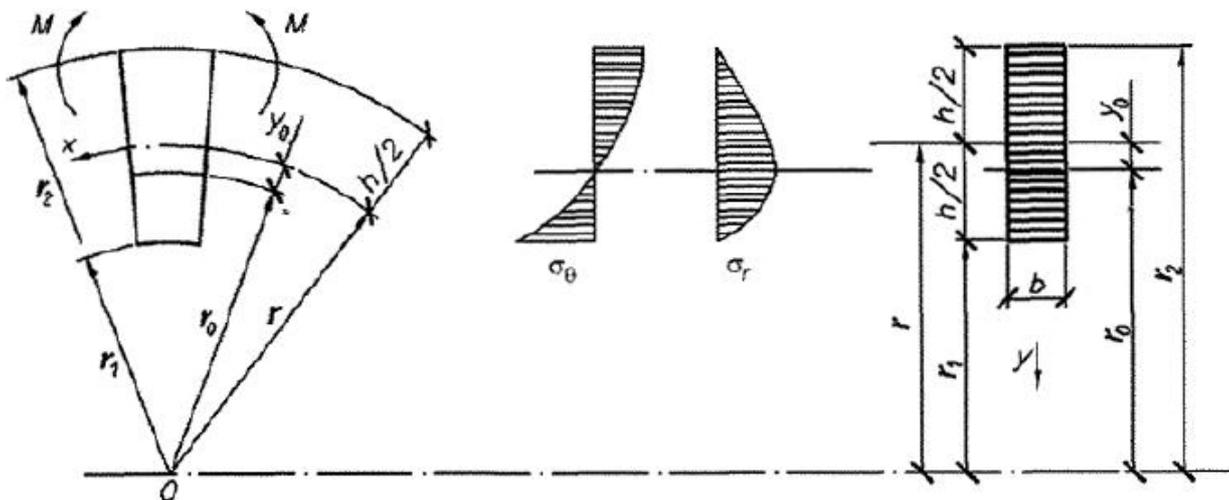


Рис. 5.1. Расчётная схема кривого бруса при чистом изгибе

Примерный ход решения

Выбрать коэффициенты условий работы

Коэффициент длительности для режима нагружения, $m_{дл}$	Таблица 4, стр.7
Коэффициент слоя, $m_{сл}$	Таблица 11 стр.14
Коэффициент условий эксплуатации, $m_{в}$	Таблица 9 стр.14
Коэффициент гнущья, $m_{гн}$	Таблица 12 стр.14
Остальные коэффициенты условий работы	принять равными 1

Расчётные сопротивления $R_{и}^A, R_{p90}^A$ при кратковременном нагружении принять по Таблице 3, стр.5

Определить расчётные сопротивления на изгиб и растяжение поперёк волокон

$$R_{и} = R_{и}^A m_{дл} m_{сл} m_{гн} m_{в}$$

$$R_{p90} = R_{p90}^A m_{дл} m_{сл} m_{гн} m_{в}$$

Вычислить внешний радиус кривизны бруса $r_2 = \dots\dots\dots$

Вычислить момент инерции сечения бруса $J_z = \dots\dots\dots$

Вычислить площадь сечения бруса $F = \dots\dots\dots$

Вычислить смещение нейтрального слоя от геометрической оси криволинейного участка $y_0 = \dots\dots\dots$ (п.7.13)

По формулам (27) и (28) вычислить допускаемые изгибающие моменты из условия прочности внешнего (M_2) и внутреннего (M_1) волокон сечения бруса.

По формуле (29) вычислить допускаемый изгибающий момент из условия прочности по максимальным радиальным нормальным напряжениям (M_r).

Вычислить допускаемую силу P по минимальному из значений M_1 , M_2 и M_r

Самостоятельно

Студент	Пролёт L , м	Размер сечения, мм	Радиус кривизны внутренней $r_k = r_1$, м	Условия эксплуатации	Сорт	Толщина слоя, мм	Режим нагружения по длительности
21.	6,0	80x200	2,85	1	1	19	Б
22.	5,5	90x200	5,2	3	2	26	В
23.	5,0	100x200	8,25	4а	3	33	Г
24.	4,5	100x220	6,3	2	1	42	Д
25.	4,0	100x250	1,5	1	2	10	Е
26.	3,5	100x300	3,8	3	3	19	Ж
27.	3,0	110x230	6,5	4а	1	26	И
28.	6,0	110x240	4,95	2	2	33	К
29.	5,5	110x260	8,4	1	3	42	Б
30.	5,0	120x240	2,5	3	1	10	В
31.	4,5	120x250	3,8	4а	2	19	Г
32.	4,0	120x260	6,5	2	3	26	Д
33.	3,5	120x270	4,95	1	1	33	Е
34.	3,0	120x280	9,0	3	2	42	Ж
35.	4,0	120x290	2,5	4а	3	10	И
36.	3,5	120x300	2,85	2	1	19	К

37.	3,0	120x310	5,2	1	2	26	Б
38.	6,0	120x320	8,25	3	3	33	В
39.	5,5	120x330		4а	1	42	Г

6 Расчёт клефанерной плиты

Пример

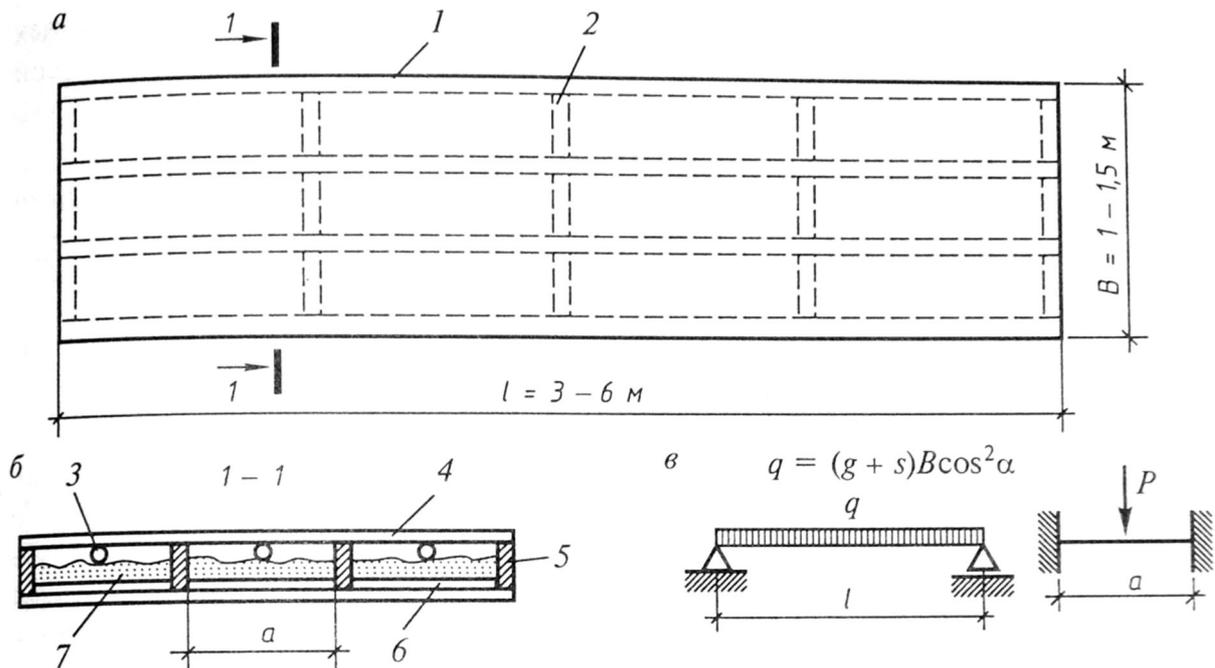


Рис. 6.1 Расчётная схема клефанерной плиты

Подобрать и проверить сечение коробчатой клефанерной плиты утепленного настила покрытия. Плита имеет длину $L = 6$ м, ширину $B = 1,5$ м, две фанерные обшивки, четыре продольных и пять поперечных ребер. Плита опирается концами на клеедеревянные балки и воспринимает равномерно распределенные и сосредоточенные нагрузки, нормальные к ее поверхности, следующих нормативных и расчётных значений: от собственного веса и веса снега $q^H = 2,6$ кН/м, $q = 4$ кН/м: от веса человека с грузом $P^H = 1,0$ кН, $P = 1,2$ кН.

Решение. Принимаем предварительно сечение продольных ребер $b_1 \times h_1 = 4 \times 17$ см. Расчётная схема плиты — однопролётная шарнирно опёртая балка пролётом

$$l = 6 - 0,05 = 5,95 \text{ м.}$$

Расчётная схема верхней обшивки — однопролётная заделанная на опорах балка пролетом, равным расстояниям между пластинами соседних продольных ребер

$$a = (B - 4b_1)/3 = (1,5 - 4 \cdot 0,04)/3 = 0,45 \text{ м.}$$

Расчётные усилия в сечениях плиты:

изгибающий момент

$$M = ql_2/8 = 4 \cdot 5,952/8 = 17,7 \text{ кН м} = 0,0177 \text{ МНм};$$

поперечная сила

$$Q = ql/2 = 4 \cdot 5,95/2 = 11,9 \text{ кН} = 0,0119 \text{ МН}$$

Местный изгибающий момент в верхней обшивке

$$M_1 = Pa/8 = 1,2 \cdot 0,45/8 = 0,0675 \text{ кН м} = 0,0675 \cdot 10^{-3} \text{ МНм.}$$

Предварительно примем толщину обшивки $\delta = 1 \text{ см}$.

Требуемая толщина фанерной обшивки

$$\delta_{\text{тр}} = M / (0,6 \cdot V h_0 R_{\text{фс}}) = 0,0177 / (0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,18 \cdot 11,9) = 0,009 \text{ м} = 0,9 \text{ см,}$$

где

$$h_0 = h_1 + \delta;$$

$$R_{\text{фс}} = R_{\text{фс}}^A m_{\text{дл}} = 18 \cdot 0,66 = 11,9 \text{ МПа}$$

Окончательно принимаем фанерные обшивки одинаковой толщины $\delta = 1 \text{ см}$.

Геометрические характеристики сечения плиты:

расчетная ширина обшивок

$$b = 0,9B = 0,9 \cdot 150 = 135 \text{ см};$$

общее сечение продольных ребер

$$b_p h_p = 4b_1 h_1 = 16 \cdot 17 = 272 \text{ см}^2;$$

полная высота сечения

$$h = h_1 + 2\delta = 17 + 2 \cdot 1 = 19 \text{ см};$$

положение нейтральной оси сечения

$$z = h/2 = 19/2 = 9,5 \text{ см};$$

момент инерции сечения

$$J = J_{\text{ф}} + J_{\text{д}} = 2b\delta(z - 0,5\delta)^2 + b_p h^3/12 = 2 \cdot 135 \cdot 1(9,5 - 0,5 \cdot 1)^2 + 16 \cdot 17^3/12 = 28450 \text{ см}^4 = 0,0002845 \text{ м}^4;$$

момент сопротивления сечения

$$W = J/0,5h = 0,0002845/0,095 = 0,003 \text{ м}^3;$$

статический момент сечения обшивки относительно нейтральной оси

Z

$$S = b\delta(z - 0,5\delta) = 135 \cdot 1(9,5 - 0,5) = 1200 \text{ см}^3 = 0,0012 \text{ м}^3;$$

момент сопротивления обшивки расчётной шириной $b = 1 \text{ м}$

$$W_{\text{ф}} = b\delta^2/6 = 100 \cdot 12/6 = 16,7 \text{ см}^3 = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Расчетные сопротивления фанеры сжатию, растяжению вдоль наружных волокон, изгибу поперек волокон и скалыванию: $R_{\text{фс}} = 11,9 \text{ МПа}$; $R_{\text{фр}} = 21 \cdot 0,66 = 13,9 \text{ МПа}$, $R_{\text{фи}} = 10 \cdot 0,66 = 6,6 \text{ МПа}$ и $R_{\text{ск}} = 1,2 \cdot 0,66 = 0,8 \text{ МПа}$.

Проверки несущей способности плиты

Если какая-либо проверка не выполняется - изменить размеры плиты и снова сделать проверку

Проверка несущей способности верхней обшивки при сжатии и устойчивости при изгибе:

$$\text{Коэффициент устойчивости } \varphi = 1 - (a/\delta)^2/5000 = 0,6$$

Напряжение

$$\sigma = M/(W\varphi) = 0,0177/(0,003 \cdot 0,6) = 9,8 \text{ МПа} < R_{\varphi c} = 11,9 \text{ МПа.}$$

Проверка несущей способности нижней обшивки при растяжении от изгиба с учетом ее ослабления стыками на ус $m_{\varphi} = 0,6$.

Напряжение

$$\sigma = M/(Wm_{\varphi}) = 0,0177/(0,003 \cdot 0,6) = 9,8 \text{ МПа} < R_{\varphi p} = 13,9 \text{ МПа.}$$

Проверка обшивок при скалывании от изгиба.

Ширина площади скалывания $b = b_P = 16 \text{ см} = 0,16 \text{ м}$;

$$\tau = QS/(Jb) = 0,0119 \cdot 0,0012/(0,0002845 \cdot 0,16) = 0,31 \text{ МПа} < R_{ск} = 0,8 \text{ МПа.}$$

Проверка обшивки при местном изгибе: напряжение

$$\sigma = M_1/W_{\varphi} = 0,0000675/16,7 \cdot 10^{-6} = 4,04 \text{ МПа} < R_{\varphi i} = 6,6 \text{ МПа.}$$

Проверка относительного прогиба плиты от нормативной нагрузки $q_H = 2,6 \text{ кН/м} = 0,0026 \text{ МН/м}$. Модуль упругости фанеры примем $E_{\varphi} = 9000 \text{ МПа}$.

$$f/l = (5/384)[q_H l^3/(0,7 E_{\varphi} J)] = (5/384)[0,0026 \cdot 5,953/(0,7 \cdot 9000 \cdot 0,0002845)] = 0,004 = 1/250 = [f/l].$$

Следовательно, клеефанерная плита имеет прогибы от нормативных нагрузок, не превышающие допускаемых, и ее несущая способность по отношению к расчетным нагрузкам имеет дополнительные запасы несущей способности.

Если какая-либо проверка не выполняется – изменить размеры и повторить проверку

Самостоятельно

<i>Вариант</i>	<i>Длина L, м</i>	<i>Ширина B, м</i>	<i>q, кН/м</i>	<i>q₂, кН/м (в примере q^н)</i>
1.	6,0	1,5	3,3	2,5
2.	5,5	1,4	3,2	2,3
3.	5,0	1,3	3,3	2,2
4.	4,5	1,2	3,1	2,2
5.	4,0	1,1	3,0	2,3
6.	3,5	1,0	4,0	3,1
7.	3,0	1,3	3,9	3,0
8.	6,0	1,2	3,9	3,0
9.	5,5	1,1	3,8	2,9
10.	5,0	1,0	3,7	2,8
11.	4,5	1,3	3,6	2,7
12.	4,0	1,2	3,5	2,7
13.	3,5	1,4	3,4	2,7
14.	3,0	1,3	3,1	2,4
15.	4,0	1,2	3,0	2,2
16.	3,5	1,1	4,0	3,0
17.	3,0	1,0	3,9	2,9
18.	6,0	1,3	3,6	2,8
19.	5,5	1,2	3,5	2,7
20.	5,0	1,4	3,4	2,6
21.	4,5	1,3	3,1	2,4
22.	4,0	1,2	3,1	2,3
23.	3,5	1,1	3,0	2,3

7 Расчёт трёхслойной плиты покрытия из плоских асбестоцементных листов и пенопласта

Пример

Подобрать и проверить сечение трёхслойной плиты покрытия из плоских асбестоцементных листов и пенопласта. Плита длиной $L = 2,95$ м и шириной $b = 1$ м опирается концами на основные несущие конструкции покрытия. На плиту нормально к ее поверхности действуют равномерные нагрузки от собственного веса и веса снега: нормативная нагрузка $q_n = 1,8 \text{ кН/м} = 0,0018 \text{ МН/м}$; расчетная нагрузка $q = 2,7 \text{ кН/м}$.

Решение. Статическая схема плиты — однопролетная шарнирно опертая балка.

$$l = L - 0,05 = 2,95 - 0,05 = 2,9 \text{ м.}$$

Расчётные максимальные усилия в плите — изгибающий момент и поперечная сила: $M = ql^2/8 = 2,7 \cdot 2,9^2/8 = 2,84 \text{ кНм} = 0,00284 \text{ МНм}$;

$$Q = ql/2 = 2,7 \cdot 2,9/2 = 3,9 \text{ кН} = 0,0039 \text{ МН.}$$

Принимаем для обшивок плоские листы из асбестоцемента с пределом прочности на изгиб 25 МПа , толщиной $\delta = 1 \text{ см}$. Его расчётное сопротивление растяжению вдоль листа $R_p = 4,2 \text{ МПа}$ с учётом длительности действия нагрузок и модуль упругости $E = 6250 \text{ МПа}$. Для среднего слоя принимаем пенопласт пенополиуретана марки ППУ-60 с плотностью 60 кг/м^3 , расчётным сопротивлением скалыванию $R_{СК} = 0,025 \text{ МПа}$ и модулем сдвига $G = 7 \text{ МПа}$.

Требуемая высота сечения плиты между осями обшивок из условия расчётного сопротивления пенопласта скалыванию

$$h_{0.\text{тр}} = Q/(bR_{СК}) = 0,0039/(1 \cdot 0,025) = 0,156 \text{ м} = 15,6 \text{ см.}$$

Принимаем плиту с общей высотой сечения $h = 17 \text{ см}$, тогда $h_0 = h - \delta = 17 - 1 = 16 \text{ см}$. Геометрические характеристики сечения плиты — моменты инерции, сопротивления и статический:

$$J = b\delta h_0^2/2 = 1 \cdot 0,01 \cdot 0,16^2/2 = 0,000128 \text{ м}^4;$$

$$W = b\delta h_0 = 1 \cdot 0,01 \cdot 0,16 = 0,0016 \text{ м}^3;$$

$$S = b\delta h_0/2 = 1 \cdot 0,01 \cdot 0,16/2 = 0,0008 \text{ м}^3$$

Проверка растягивающих напряжений в нижней обшивке:

$$\sigma = M/W = 0,00284/0,0016 = 1,78 \text{ МПа} < R_p = 4,2 \text{ МПа}$$

Проверка скалывающих напряжений в среднем слое:

$$\tau = QS/(Jb) = 0,0039 \cdot 0,0008/(0,000128 \cdot 1) = 0,024 \text{ МПа} < R_{СК} = 0,025 \text{ МПа.}$$

Проверка прогиба плиты от нормативной нагрузки $q_n = 0,0018 \text{ МН/м}$.

Коэффициент сдвиговой податливости среднего пенопластового слоя

$$K = 1 + \frac{9,6EJ}{G(h_0 + \delta)b l^2} = 1 + \frac{9,6 \cdot 6250 \cdot 0,000128}{7(0,16 + 0,01) \cdot 1 \cdot 2,9^2} = 1,77$$

Относительный прогиб

$$\frac{f}{l} = \frac{5q_n l^3 K}{384EJ} = \frac{5 \cdot 0.018 \cdot 2,9^3 \cdot 1,77}{384 \cdot 6250 \cdot 0.000128} = \frac{1}{790} < \frac{1}{250}$$

Проверка сжимающих напряжений в верхней обшивке не требуется, так как расчетное сопротивление асбестоцемента сжатию выше, чем растяжению.

Самостоятельно

Подобрать и проверить сечение трёхслойной плиты покрытия с обшивками из асбестоцементных листов и средним слоем из пенополиуретана. Механические характеристики и допускаемый прогиб принять как в предыдущем примере

Вариант	Общая длина, L, м	Ширина, b, м	Нормативная нагрузка q'' , кПа	Расчётная нагрузка q , кПа
1	3,0	1,0	1,8	2,2
2	2,8	1,1	1,9	2,3
3	2,6	1,2	2,0	2,5
4	2,4	1,3	2,1	2,4
5	2,2	1,4	2,2	2,5
6	2,0	1,5	2,4	2,7
7	3,2	1,0	2,5	2,9
8	3,4	1,1	1,7	2,4
9	3,6	1,2	1,6	2,3
10	3,8	1,3	1,5	2,2
11	4,0	1,4	1,4	2,2
12	2,4	1,5	1,3	2,1
13	2,2	1,3	1,2	1,9
14	2,0	1,4	1,1	1,8
15	3,2	1,5	1,0	1,6
16	3,4	1,0	1,7	2,0
17	2,8	1,1	1,6	2,0
18	2,6	1,2	1,5	1,9
19	2,4	1,2	1,4	1,9
20	2,2	1,3	1,3	1,8

Библиографический список

1. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция. СНиП II-25-80. – М.: Минрегион России, 2011. – 88 с.
2. Расчет конструкций из дерева и пластмасс: учеб.пособие для студ. вузов/ Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, Э.М. Улицкая; под ред. Ф.А. Бойтемирова. - М.: Изд.центр «Академия», 2006. – 160 с.
3. Вдовин В.М, Карпов В.Н. Сборник задач и практические методы их решения по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс»: Учебное пособие. – М.: ИАСВ, 1999. – 133 с.
4. Конструкции из дерева и пластмасс/ М.М. Гаппоев и др. – М.: АСВ, 2004. – 440 с.
5. Бойтемиров Ф.А. Расчет конструкций из дерева и пластмасс. – М.: Академия, 2007. – 160 с.