

ЛЕКЦИЯ 8 РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КОСОЙ ИЗГИБ.

Цель лекции: освоение студентами компетенций по расчета деревянных конструкций цельного сечения

Вопросы к лекции:

8.1 Изгибаемые элементы. Расчет деревянных элементов на поперечный изгиб

8.1.1 Расчет изгибаемых элементов на прочность

8.1.2 Расчет на устойчивость

8.1.3 Проверка на скалывание при изгибе

8.2 Изгибаемые элементы. Расчет деревянных элементов на косою изгиб

Вопросы к экзамену

24 Расчет деревянных элементов цельного сечения на поперечный и косою изгиб.

8.1 Изгибаемые элементы. Расчет деревянных элементов на поперечный изгиб

Изгибаемые элементы воспринимают нагрузки, действующие поперек продольной оси в одной из главных плоскостей сечения. Такой вид изгиба называется - **поперечным изгибом**.

На поперечный изгиб работают: балки, стропила, прогоны, обрешетки, настилы.

В изгибаемых элементах от нагрузок, действующих поперек продольной оси, возникают изгибающие моменты, M и поперечные силы, Q , определяемые методами строительной механики. Например, в однопролетной балке пролетом l от равномерно-распределенной нагрузки, q , возникают изгибающие моменты, M_{max} , и поперечные силы, Q_{max} .

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8}, \quad Q_{max} = \frac{q \cdot l}{2}. \quad (8.1)$$

От изгибающего момента в сечениях элемента возникают деформации и напряжения изгиба, σ , которые состоят из сжатия в одной части сечения и растяжения в другой, в результате элемент изгибается.

Диаграмма « $\sigma - f$ », как и для сжатия, примерно до половины, имеет линейное очертание, затем изгибается, показывая ускоренный рост прогибов (рисунок 8.1).

$R_u^{BP} = 80$ МПа – предел прочности чистой древесины на изгиб при кратковременных испытаниях.

Разрушение образца начинается с появления складок в крайних сжатых волокнах и завершается разрывом крайних растянутых (рисунок 8.2).

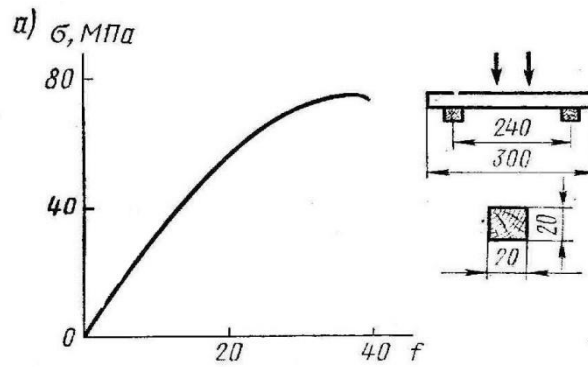
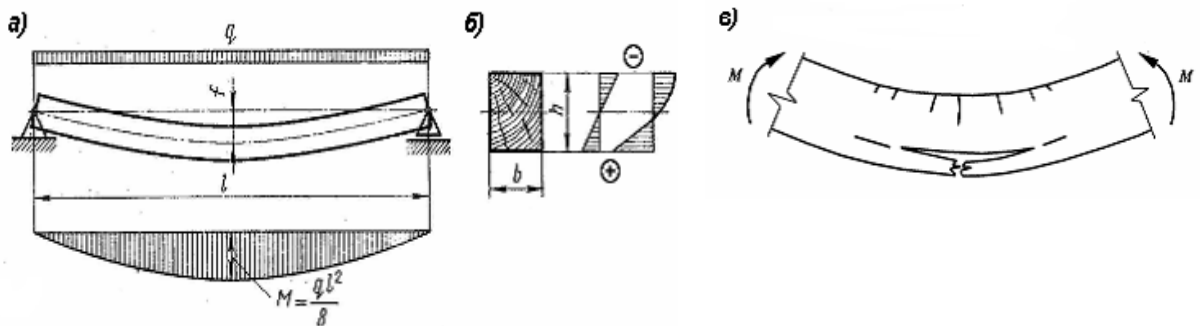


Рисунок 8.1 – График деформаций и стандартный образец

Поперечная сила, Q , вызывает деформации сдвига вдоль оси элемента и касательные напряжения, τ , максимальные на нейтральной оси элемента.



a и b – деформированный вид и эпюра изгибающих моментов; поперечное сечение и эпюры нормальных напряжений σ , при упругом и упруго - пластическом (перед разрушением) характере работы;
 $в$ - разрушение древесины от деформаций сжатия и растяжения при изгибе
 Рисунок 8.2 – Изгибаемый элемент

Расчетное сопротивление изгибу [1] рекомендуется принимать таким же, как и при сжатии, т. е. для второго сорта:

- для элементов прямоугольного сечения высотой до 50 см $R_u = 19,5$ МПа;
- для брусьев с размерами сечения 11,0 – 13,0 см. $R_u = 21,0$ МПа. Брусья при высоте сечения 11,0 – 50,0 см имеют меньше перерезанных волокон при распиловке, чем доски, поэтому их прочность повышается;
- для брусьев шириной свыше 13,0 см при высоте сечения 13 – 50 см $R_u = 22,5$ МПа.

В общем случае для изгибаемых элементов выполняют четыре проверки:

- прочность при действии максимальных нормальных напряжений,
- прочность при действии максимальных касательных напряжений,
- устойчивость плоской формы деформирования,
- проверка по допускаемому прогибу.

8.1.1 Расчет изгибаемых элементов на прочность

Расчет изгибаемых элементов на прочность производится по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W_{расч}} \leq R_u \text{ (или } \leq R_{д.ш}^u \text{)}, \quad (8.2)$$

где M – максимальный изгибающий момент,

R_u – расчетное сопротивление изгибу;

$R_{д.ш}^u$ – расчетное сопротивление изгибу древесины из однонаправленного шпона;

$W_{расч}$ – расчетный момент сопротивления поперечного сечения, для цельных элементов $W_{расч} = W_{нт}$;

Для наиболее распространенного прямоугольного сечения:

$$W = \frac{I}{h/2} = \frac{b \cdot h^2}{6}; \quad (8.3)$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}. \quad (8.4)$$

Подбор сечения изгибаемых элементов производится с определения требуемого момента сопротивления поперечного сечения по формуле:

$$W_{мп} = \frac{M}{R_u}; \quad (8.5)$$

затем, задавая один из размеров сечения (b или h), находят другой размер.

8.1.2 Расчет на устойчивость плоской формы деформирования элементов прямоугольного постоянного сечения производят по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_m W_{бр}} \leq R_u, \quad (8.6)$$

где M – максимальный изгибающий момент на рассматриваемом участке l_p ;

$W_{бр}$ – максимальный момент сопротивления брутто на рассматриваемом участке l_p ;

φ_m – коэффициент устойчивости.

Коэффициент φ_m , для изгибаемых элементов прямоугольного постоянного поперечного сечения шарнирно-закрепленных от смещения из плоскости изгиба, следует определять по формуле:

$$\varphi_m = 140 \frac{b^2}{l_p \cdot h} \cdot k_\phi, \quad (8.7)$$

где l_p – расстояние между опорными сечениями элемента (расстояние между точками закрепления сжатого пояса),

b – ширина поперечного сечения,

h – максимальная высота поперечного сечения на участке l_p ,

k_ϕ – коэффициент, зависящий от формы эпюры на участке l_p , определяемый по таблице Е.1 приложения Е [1].

При расчете элементов переменной высоты сечения значение коэффициента φ_m следует умножать на коэффициент $k_{жсМ}$, а при подкреплении из плоскости изгиба в промежуточных точках растянутой кромки – на коэффициент $k_{нМ}$. Оба эти коэффициента определяются по [1].

При наличии точек закрепления растянутых зон $n \geq 4$, $k_{жсМ} = 1$.

Проверку устойчивости плоской формы изгиба элементов постоянного двутаврового или коробчатого сечения следует производить в тех случаях, когда $l_p \geq 7b$, где b – ширина сжатого пояса поперечного сечения.

8.1.3 Проверка на скалывание при изгибе выполняется по формуле Журавского:

$$\tau = \frac{Q \cdot S'_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}} \cdot b_{\text{расч}}} \leq R_{\text{ск}}, \quad (8.8)$$

где Q – расчетная поперечная сила;

$I_{\text{бр}}$ – момент инерции брутто поперечного сечения относительно нейтральной оси;

$S'_{\text{бр}}$ – статический момент брутто сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси;

$b_{\text{расч}}$ – расчетная ширина сечения элемента;

$R_{\text{ск}}$ – расчетное сопротивление скалыванию при изгибе;

Для древесины второго сорта при скалывании вдоль волокон:

$R_{\text{ск}} = 2,4$ МПа при изгибе неклеенных элементов,

$R_{\text{ск}} = 2,25$ МПа – при изгибе клееных элементов.

В балках прямоугольного сечения при $l/h \geq 5$ скалывания не происходит, однако оно может быть в элементах других форм сечения, например, в двутавровых балках с тонкой стенкой.

Проверка изгибаемых элементов по прогибам

Определяется относительный прогиб, значение которого не должно превышать предельного значения, регламентированного [1]:

$$\frac{f}{\ell} \leq \left[\frac{f}{\ell} \right]. \quad (8.9)$$

Наибольший прогиб, f , шарнирно-опертых и консольных изгибаемых элементов постоянного и переменного сечения следует определять по формуле:

$$f = \frac{f_0}{k} \left[1 + c \cdot \left(\frac{h}{\ell} \right)^2 \right], \quad (8.10)$$

где f_0 – прогиб балки постоянного сечения без учета деформаций сдвига (например, для однопролетной балки $f_0 = \frac{5}{384} \frac{q^h l^4}{EI}$);

h – наибольшая высота сечения;

k – коэффициент, учитывающий переменность высоты сечения, для балки постоянного сечения $k = 1$;

c – коэффициент, учитывающий деформации сдвига от поперечной силы.

Значения коэффициентов k и c приведены в таблице Е.4 приложения Е [1].

Клееные криволинейные элементы, изгибаемые моментом M , уменьшающим их кривизну, следует проверять дополнительно на радиальные растягивающие напряжения по формуле

$$\sigma_r = \frac{(\sigma_o + \sigma_i)h_i}{2r_i} \leq R_{p90}, \quad (8.11)$$

где σ_o – нормальные напряжения в крайнем волокне растянутой зоны;

σ_i – нормальные напряжения в промежуточном волокне сечения, для которого определяются радиальные растягивающие напряжения;

h_i – расстояние между крайними и рассматриваемыми волокнами;

r_i – радиус кривизны линии, проходящей через центр тяжести эпюры нормальных растягивающих напряжений, заключенной между крайними и рассматриваемыми волокнами.

8.2 Изгибаемые элементы. Расчет деревянных элементов на косой изгиб

Косой изгиб возникает в элементах, оси сечений которых расположены наклонно к направлению нагрузок, как например, в брусчатых прогонах скатных покрытий. Косой изгиб существенно увеличивает размеры поперечного сечения элементов, его следует избегать с помощью конструктивных мер, например, устройства подкладки под прогоны (рисунок 8.3).

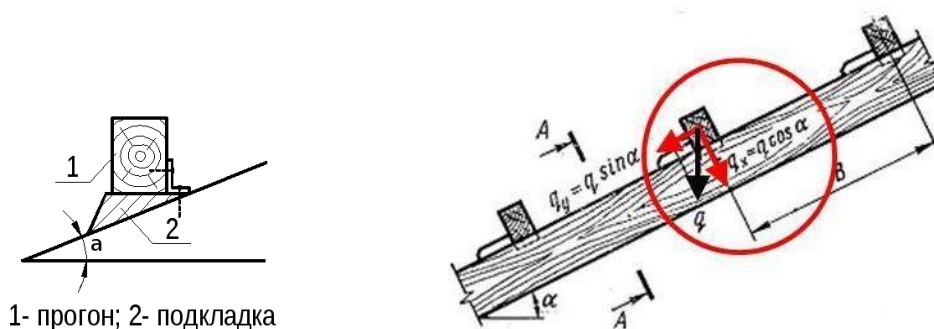


Рисунок 8.3 – Устройство подкладок под прогоны

Скатная составляющая нагрузки может быть также погашена устройством жесткого косога настила либо постановкой тяжелой в плоскости ската крыши в середине пролета прогонов. В элементах круглого сечения косой изгиб не возникает, так как все его оси являются осями симметрии.

При расчете на косой изгиб действующее усилие раскладывается на составляющие по направлению главных осей, затем находят моменты, действующие в этих плоскостях.

При расчете на косой изгиб вертикальная нагрузка, q , и изгибающие моменты, M , под углом α раскладываются на нормальную, q_y , и скатную, q_x , составляющие по направлению главных осей (рисунок 8.4):

$$q_x = q \sin \alpha; \quad q_y = q \cos \alpha; \quad M_x = M \sin \alpha; \quad M_y = M \cos \alpha.$$

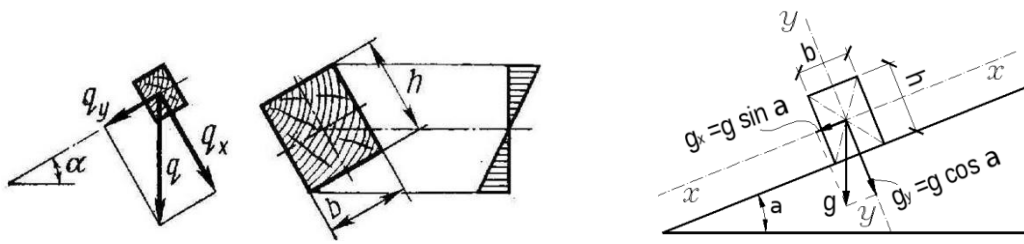


Рисунок 8.4 – Косой изгиб

Проверку прочности при косом изгибе производят по формуле:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_u, \quad (8.12)$$

где M_x, M_y - составляющие изгибающего момента для главных осей сечения x и y ;

W_x, W_y - моменты сопротивления поперечного сечения нетто относительно главных осей сечения x и y .

Подбор сечений косоизгибаемых элементов производят методом попыток.

Расчет по прогибам производят с учетом геометрической суммы прогибов относительно каждой из осей сечения:

$$\frac{f}{l} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (8.13)$$

где f_x, f_y - прогибы относительно осей x и y .