

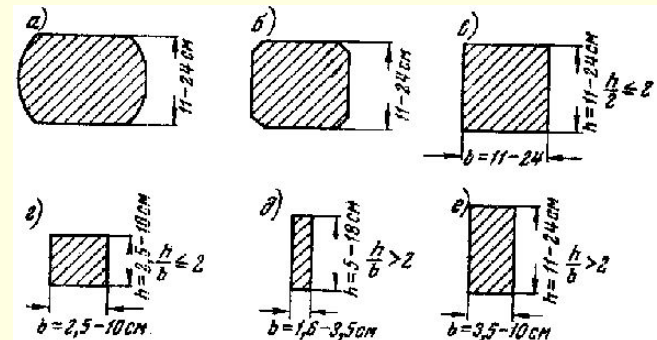
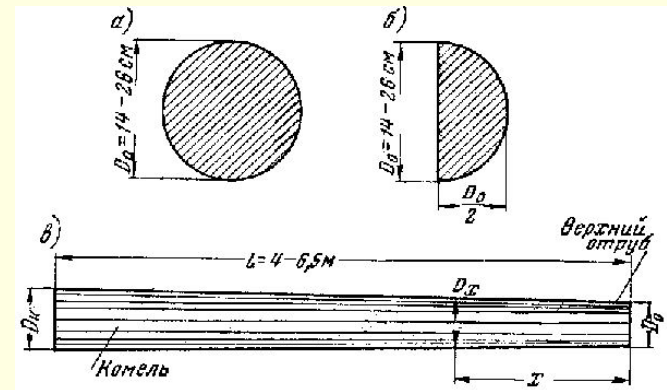
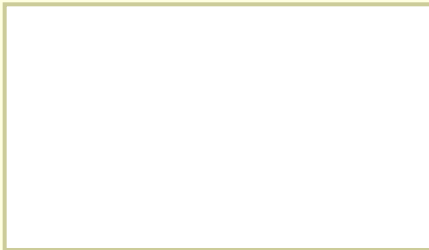
ЛЕКЦИЯ 9

6.2 Деревянные балки

6.2.1 Балки из цельной древесины

Пролет и размеры сечений балок из цельной древесины ограничены сортаментом материала:

- $0,5 \text{ м} \leq L \leq 6,5 \text{ м}$
- $14 \text{ см} \leq d \leq 26 \text{ см}$
- $75 \text{ см} \leq b \leq 27,5 \text{ см}$
- $1,6 \text{ см} \leq h \leq 25 \text{ см}$



Могут выполняться из:

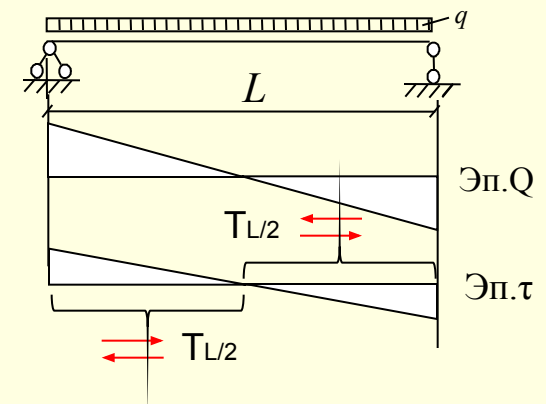
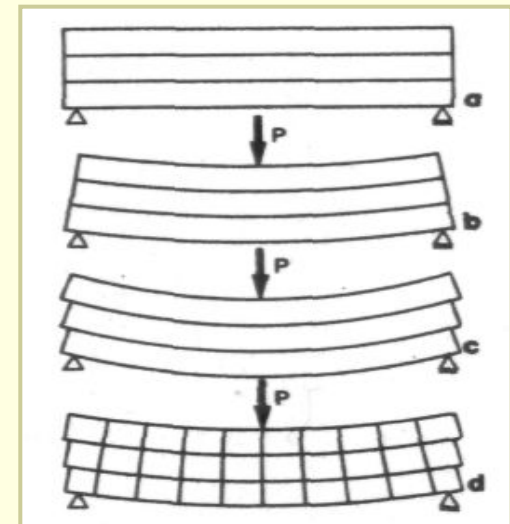
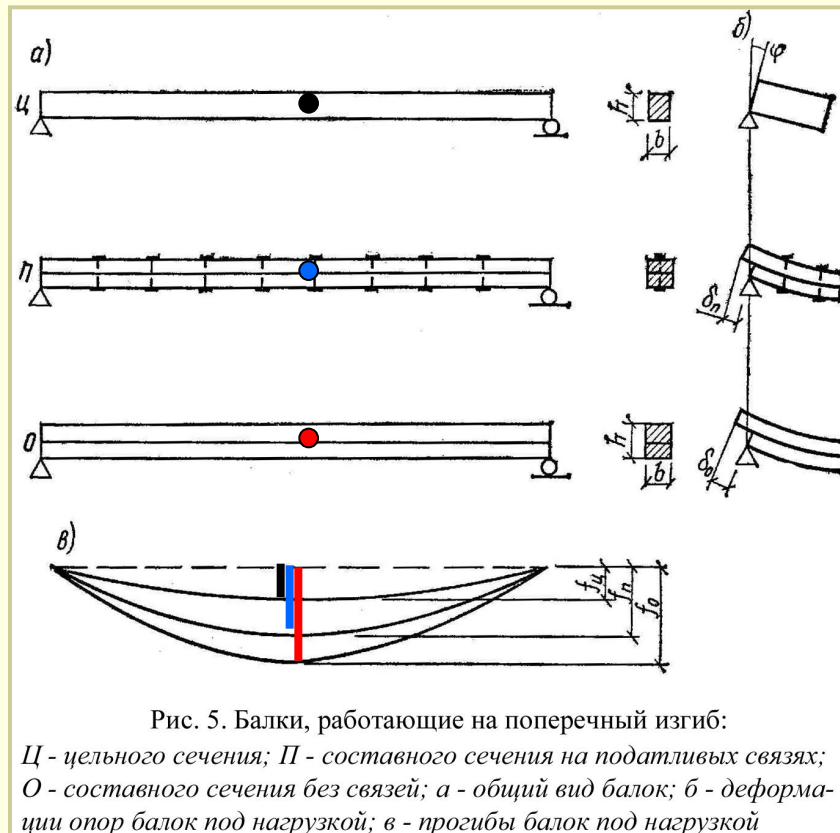
- окантованных бревен,
- брусьев,
- досок.

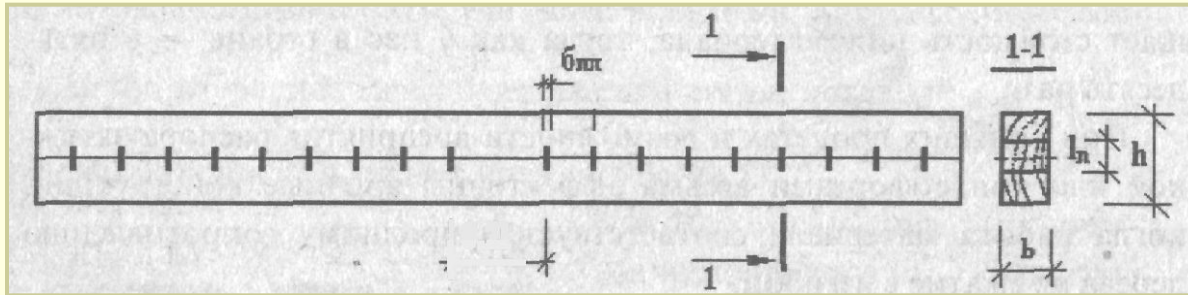
Малая трудоемкость изготовления и низкая стоимость позволяют эффективно использовать в покрытиях и перекрытиях зданий и сооружений.

Цельнодеревянные балки находят применение в качестве:

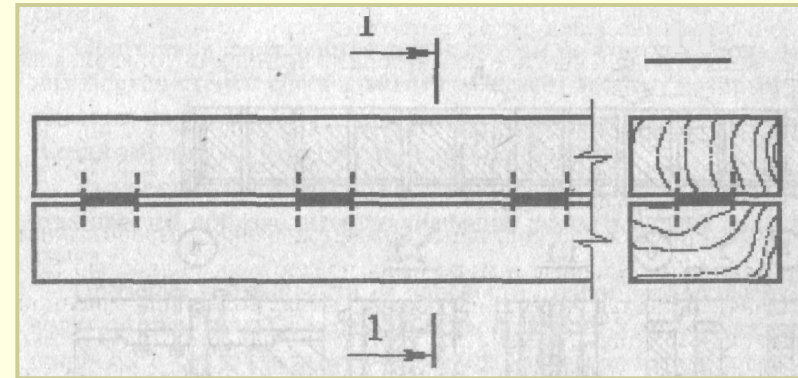
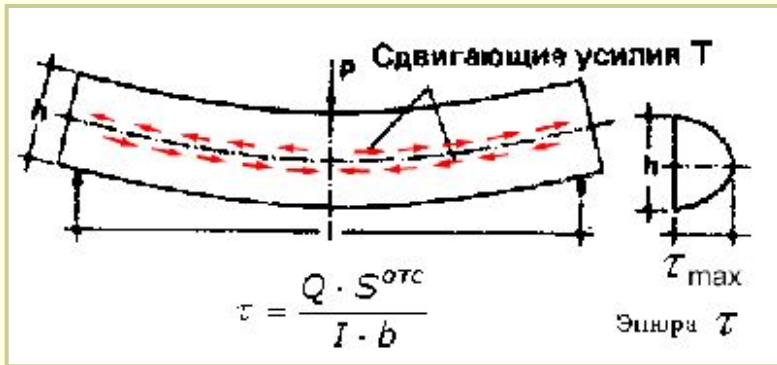
6.2.2 Составные балки из брусьев и досок на податливых связях

По шву контакта возникают взаимные сдвиги, увеличивающие прогибы и уменьшающие несущую способность балок по сравнению с балками цельного сечения





Балка Деревягина – на пластинчатых нагелях



Балка Пискунова – на металлических нагельных пластинах

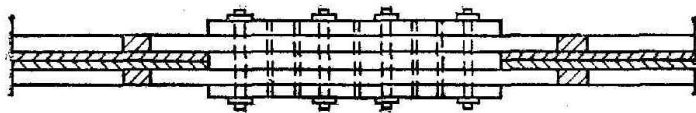
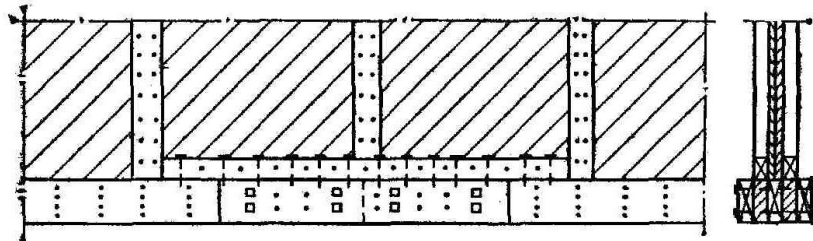
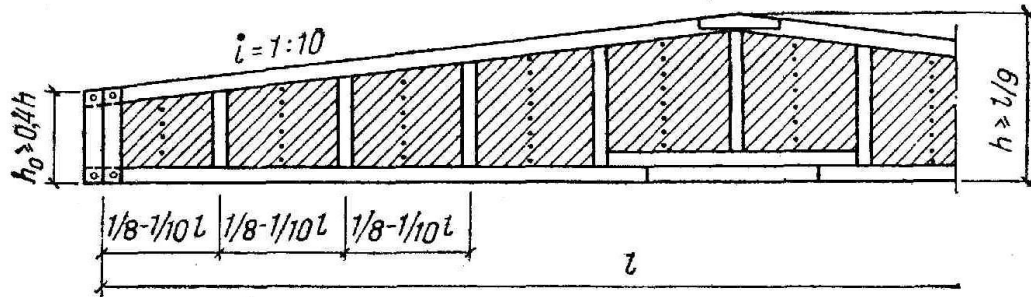
Рассчитывают как изгибаемые элементы с учетом податливости связей.

Дополнительно проверяют прочность соединений.

6.2.3 Дощатогвоздевые балки

– обладают высокой несущей способностью.

Основные элементы: пояса, перекрестная дощатая стенка и ребра жесткости.



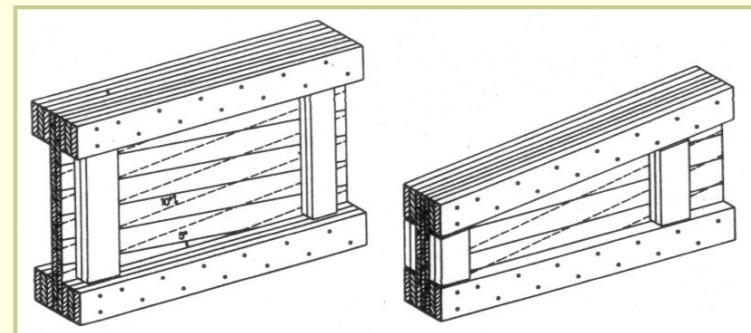
Балка двутаврового сечения с перекрестной стенкой на гвоздях,
с поясами из досок

Доски стенки рекомендуется наклонять под углом 45 градусов к нижнему поясу.

Пояса соединяют со стенкой расчетным количеством гвоздей.

Ребра жесткости ставят через $1/8 - 1/10$ пролета, совмещая с местами расположения прогонов.

Стыки поясов устраивают там, где $Q=0$.



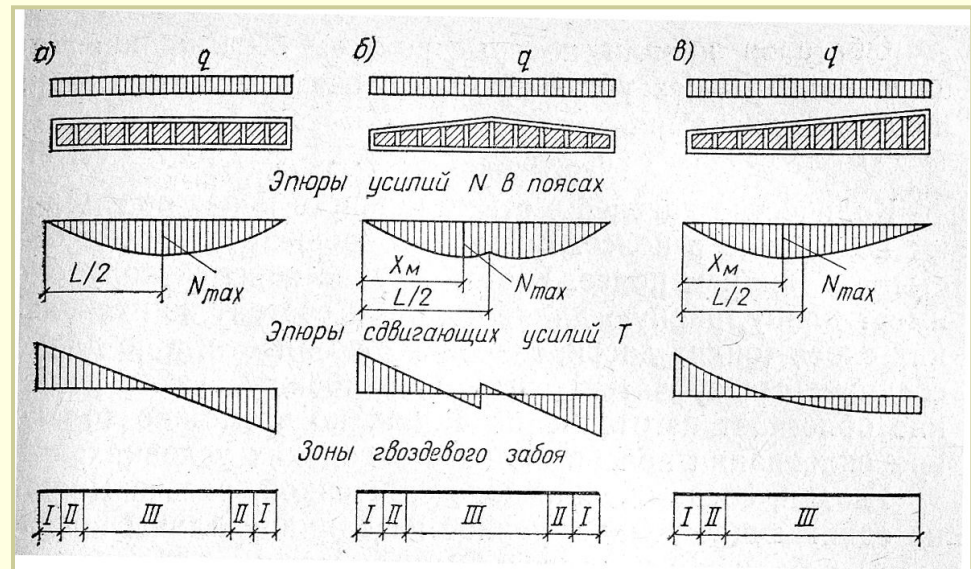
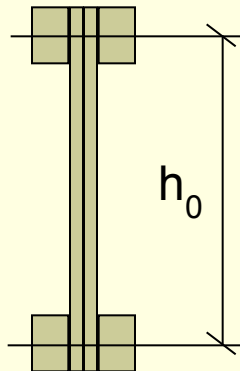
Нормальные напряжения воспринимаются только поясами. Верхний пояс проверяют на устойчивость, нижний – на прочность при растяжении.

$$N_{\text{п}} = M_{\text{max}} / h_0$$

Стенка работает только на сдвигающие усилия, возникающие при изгибе между стенкой и поясами.

$$T = Q / h_0 \text{ – сдвигающее усилие на единицу длины пояса.}$$

По длине пролета устанавливают 3 зоны гвоздевого забоя. Расчетные сдвигающие усилия определяют по сечениям, расположенным в середине каждой зоны.



6.2.4 Дощатоклееные балки

Клееные деревянные балки можно выполнять произвольной длины с эффективным поперечным сечением – **развитие высоты** приводит к значительному **увеличению несущей способности**.

Сечения 1 и 2 с отношением высоты к ширине менее шести (когда практически обеспечивается устойчивость плоской формы деформирования без дополнительного раскрепления).

Сечение 3 – клееного элемента с отношением высоты к ширине $h/b=10$. При этом необходимо предусматривать решения для обеспечения устойчивости конструкции из плоскости изгиба, например:

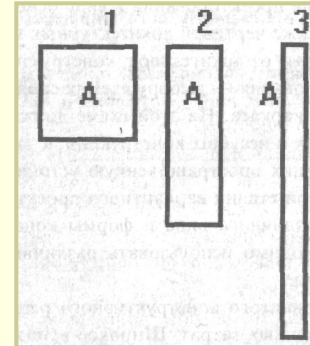
- использование прогонов, плит покрытия
- устройство систем связей для закрепления сжатых кромок балок.

При равной материалоемкости ($A_1=A_2=A_3$) моменты сопротивления будут различны и составляют:

$$h_1/b_1=1, \quad h=b, \quad W_1=1;$$

$$h_2/h_2=5, \quad h=5b, \quad W_2=2,24 W_1$$

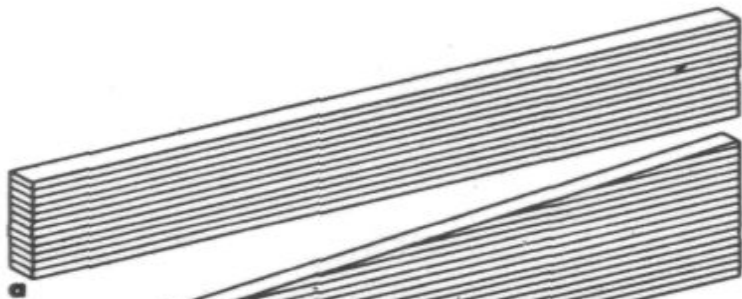
$$h_3/b_3=10, \quad h=10b, \quad W_3=3,16 W_1$$



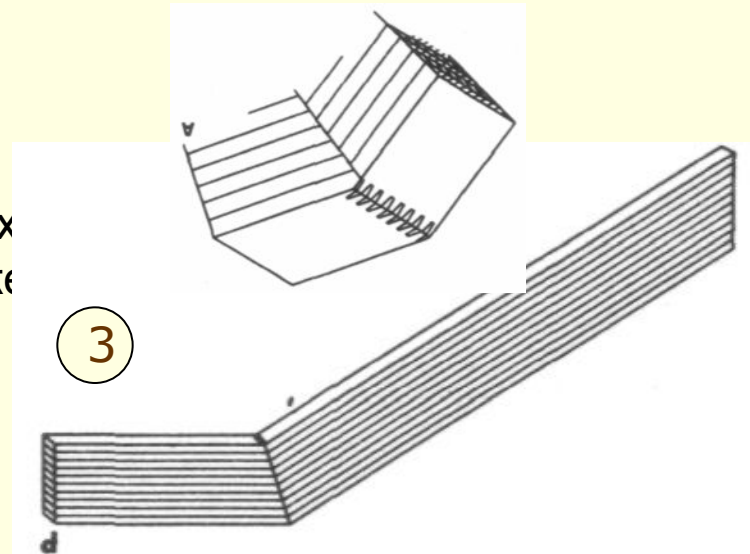
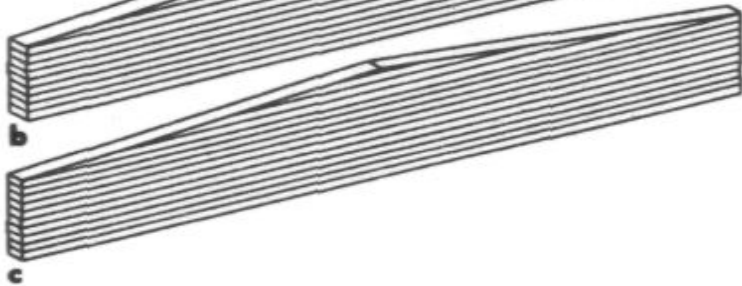
Фасады дощатоклееных балок:

- 1 - постоянной высоты сечения и односкатная;
- 2 - двускатная переменного сечения;
- 3 - ломаная, состоящая из двух прямолинейных элементов с соединением на зубчатом стыке;
- 4 - гнутые.

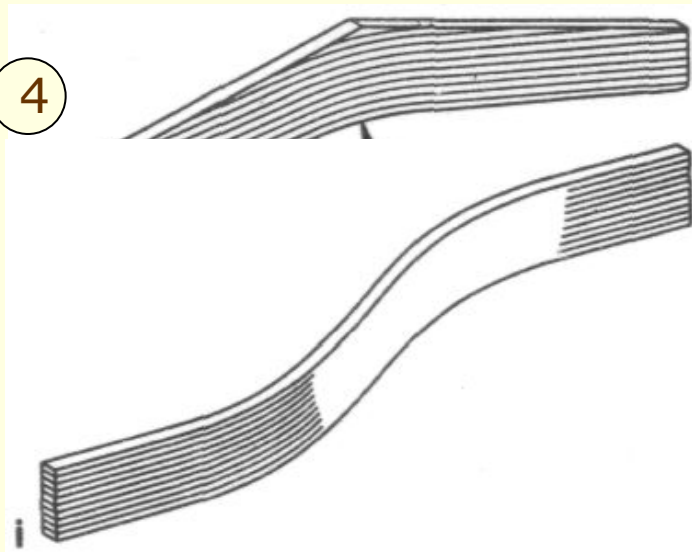
1



2

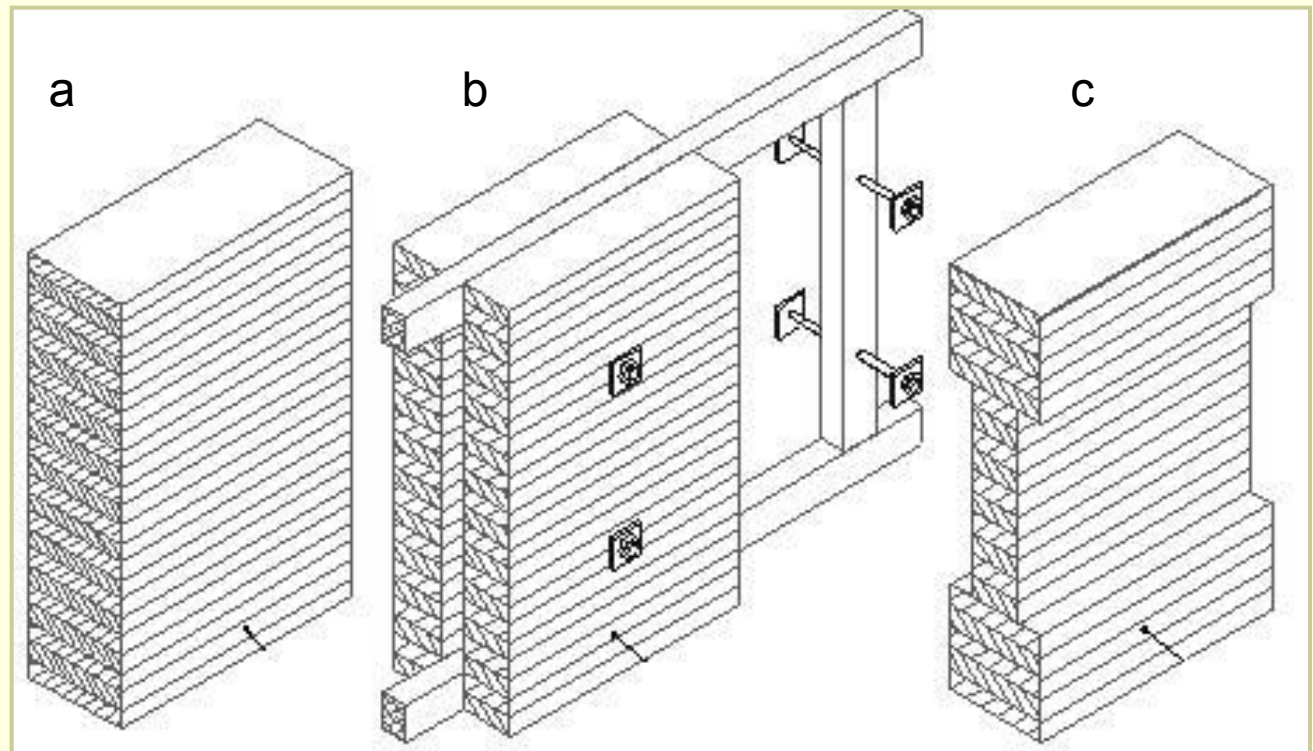


4

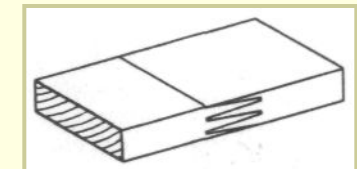
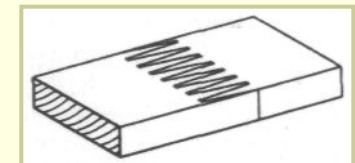


Сечения дощатоклееных балок:

- a. прямоугольное,
- b. с двойной стенкой,
- c. двутавровое



- Склеивают доски толщиной $\delta \leq 40 \dots 44$ мм и шириной $b \leq 175$ мм



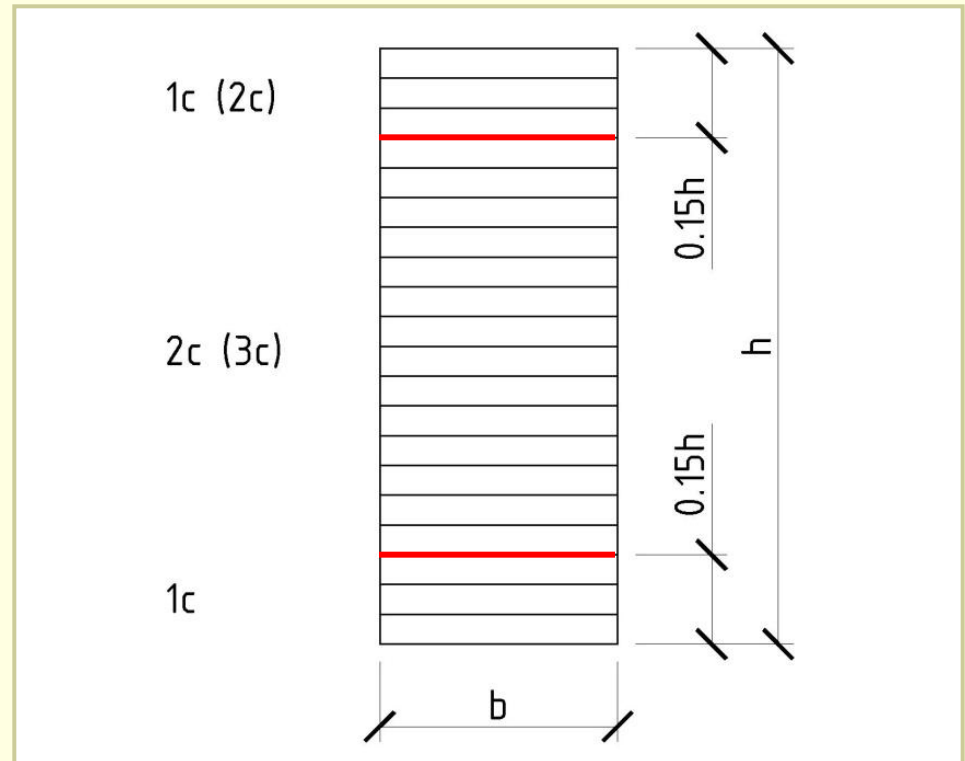
- При пролете > 6 м доски по длине стыкуют на зубчатый шип:

Высота односкатных, двускатных и гнутоклееных балок назначается в пределах $1/8 \dots 1/12$ пролета.

Ширина сечения — минимальной из условия опирания плит покрытия, прогонов и других вышележащих конструкций.

Дополнительный экономический эффект дает использование древесины разного качества.

- В наиболее напряженных нижней и верхней зоне сечения балки используется древесина 1 или 2 сорта:
 - в растянутой зоне – 1 сорт;
 - в сжатой зоне – 2 сорт.
- Доски средней зоны – 3 сорт.



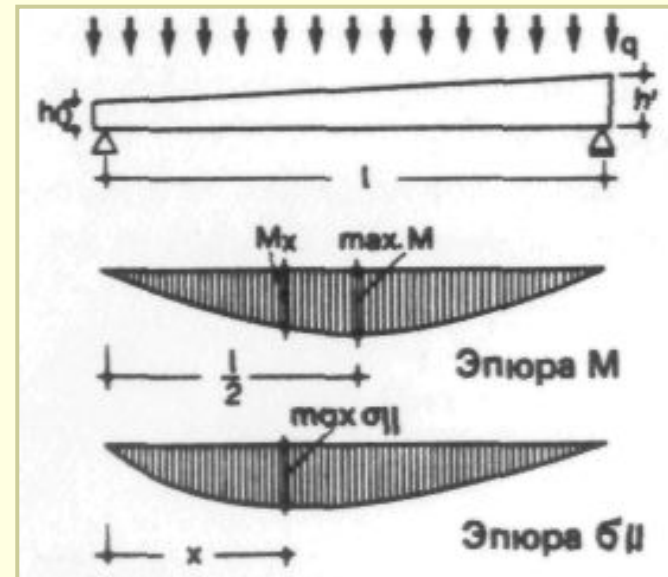
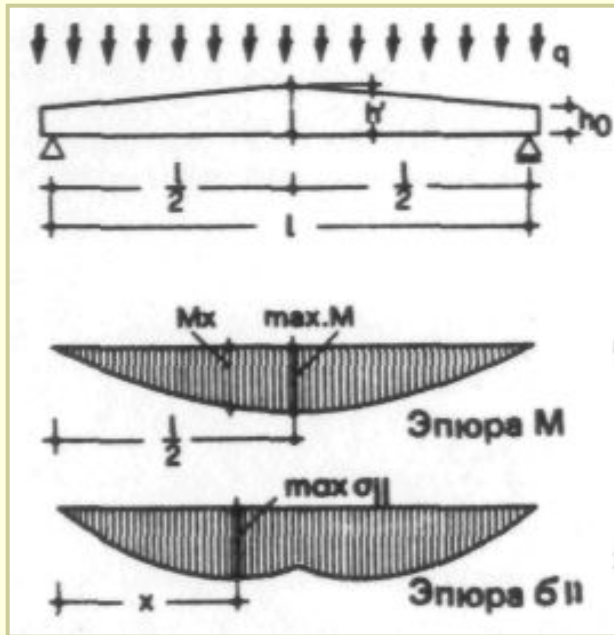
При расчете дощатоклееных балок:

- к расчетному сопротивлению древесины изгибу и сжатию вдоль волокон вводится коэффициент, учитывающий высоту сечению, большую 50 см
 $m_g = 1 \dots 0,8$.
- к расчетному сопротивлению изгибу, скалыванию и сжатию вдоль волокон вводится коэффициент, учитывающий толщину слоя клееного элемента
 $m_{сл} = 1,1 \dots 0,95$.

Балки с постоянной высотой сечения рассчитывают по общей методике расчета изгибаемых элементов.

Особенности проектирования балок с переменной высотой сечения

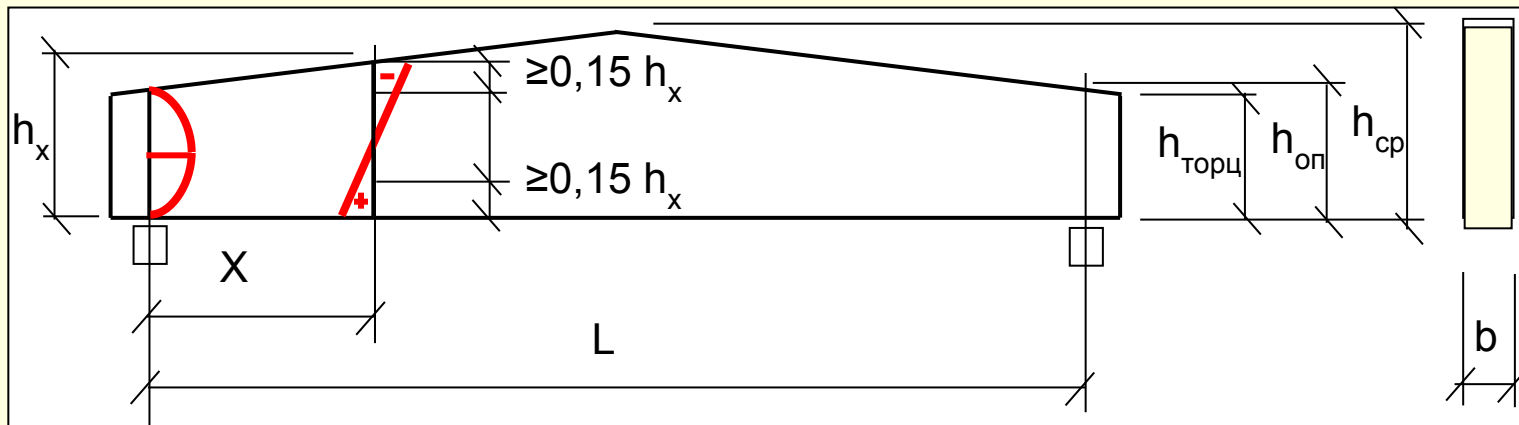
Максимальные нормальные напряжения действуют по сечению не в середине пролета, где M_{\max} , а в сечении X , где $\sigma = (M/W)_{\max}$.



В двускатной балке :

$$X = \frac{L \cdot h_{оп}}{2 \cdot h_{ср}}$$

Распределение древесины разного сорта по высоте сечения также выполняется в сечении X.

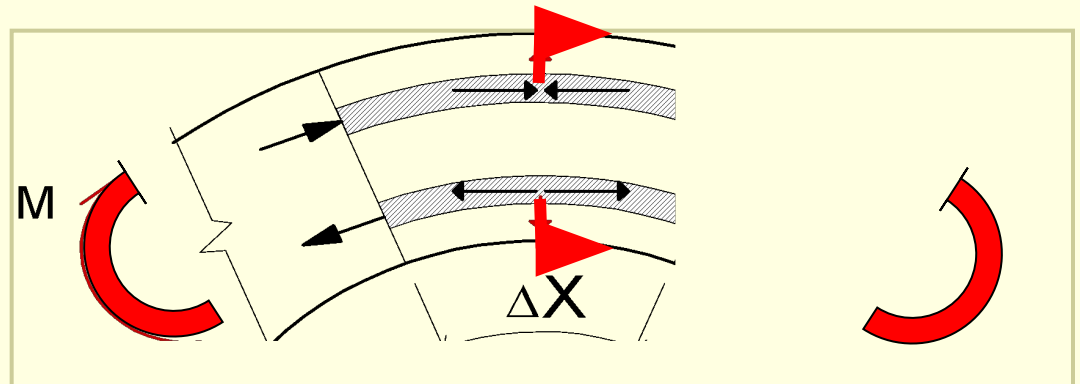
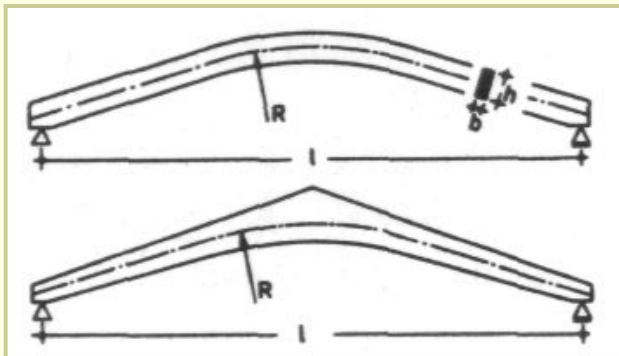


При проверке прочности сечения X на действие максимальных нормальных напряжений σ расчетное сопротивление изгибу ($R_{\text{и}}$) берется для того сорта древесины, который применен в крайних зонах сечения.

При проверке прочности опорного сечения на действие максимальных касательных напряжений τ расчетное сопротивление скалыванию ($R_{\text{ск}}$) берется для того сорта древесины, который применен в средней зоне сечения.

Особенности проектирования гнутоклееных балок

При проектировании гнутоклееных балок добавляется проверка прочности на действие радиальных растягивающих напряжений, направленных поперек волокон.



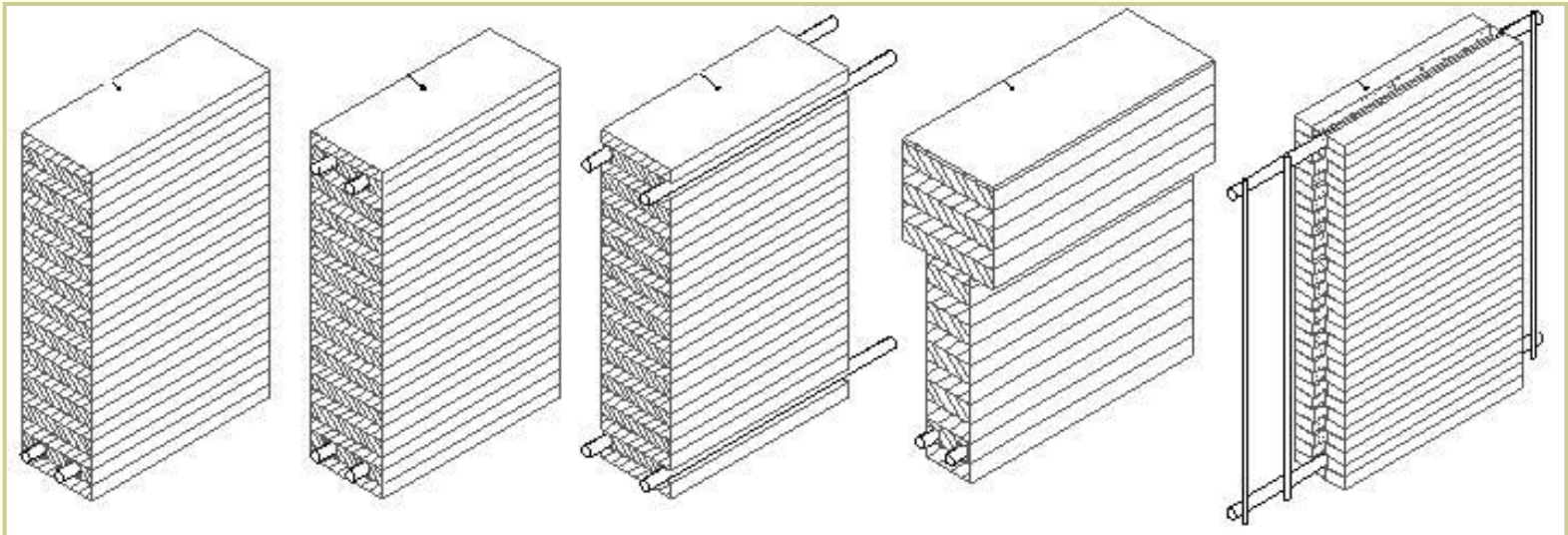
$$\sigma_r \leq R_{\delta,90}$$

К расчетному сопротивлению древесины растяжению, сжатию и изгибу вводится коэффициент, учитывающий радиус кривизны

$$m_{гн} = 1 \dots 0,6.$$

Армирование сечений балок

При необходимости ограничения размеров сечения балок увеличение их несущей способности можно произвести за счет армирования.



При изготовлении в пазы досок укладывают арматуру с заливкой эпоксидным компаундом. Компаунд обеспечивает надежную совместную работу арматуры и клееной древесины.

В качестве арматуры можно использовать:

- стальные стержни периодического профиля класса А-III;
- однонаправленный волокнистый пластик;
- стержни квадратного сечения;
- полосовую сталь;
- перфорированную стальную ленту.

Процент армирования не превышает четырех.

- Расчет армированных балок производят по приведенным геометрическим характеристикам сечения.

$$A_{пр.др} = A_{др} + A_a \frac{E_a}{E_{др}}, \quad I_{пр.др} = I_{др} + I_a \frac{E_a}{E_{др}}, \quad W_{пр.др} = \frac{I_{пр.др}}{h/2}.$$

- К обычным проверкам (прочность по максимальным нормальным и касательным напряжениям, устойчивость плоской формы деформирования, максимальный прогиб) добавляются проверки:
 - прочности арматуры на растяжение;
 - прочности клеевого соединения арматуры с древесиной на скалывание.
- Проверка по допустимым прогибам выполняется как для неармированной балки с жесткостью $EI = E_{др} I_{пр.др}$

3. Прочность клеевого шва арматуры с древесиной на скалывание

$$\frac{Q \cdot S_{a.пр}}{I_{пр} \cdot b_{расч}} \leq R_{ск}$$

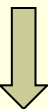
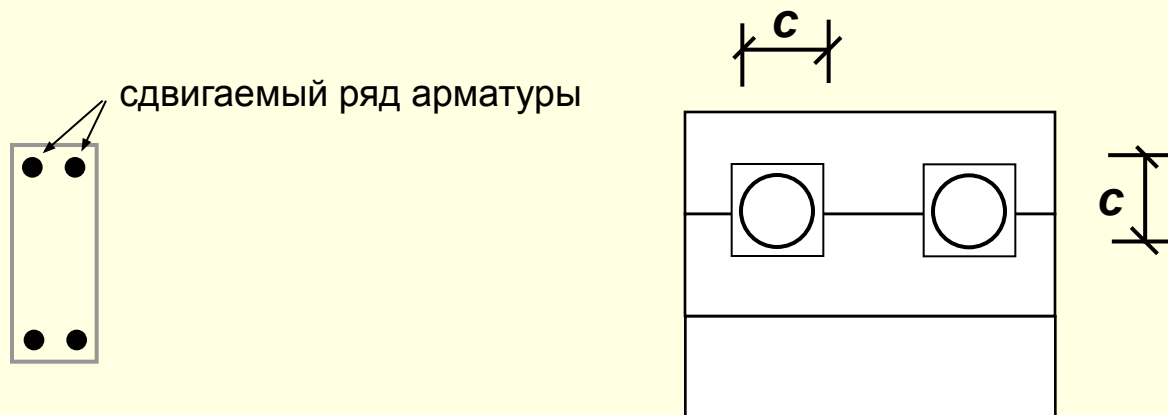
$b_{расч} = \Sigma P$ – сумме периметров пазов в которые клеивается арматура;

$S_{a.пр}$ – приведенный статический момент сдвигаемого ряда арматуры.

4. Прочность растянутой арматуры

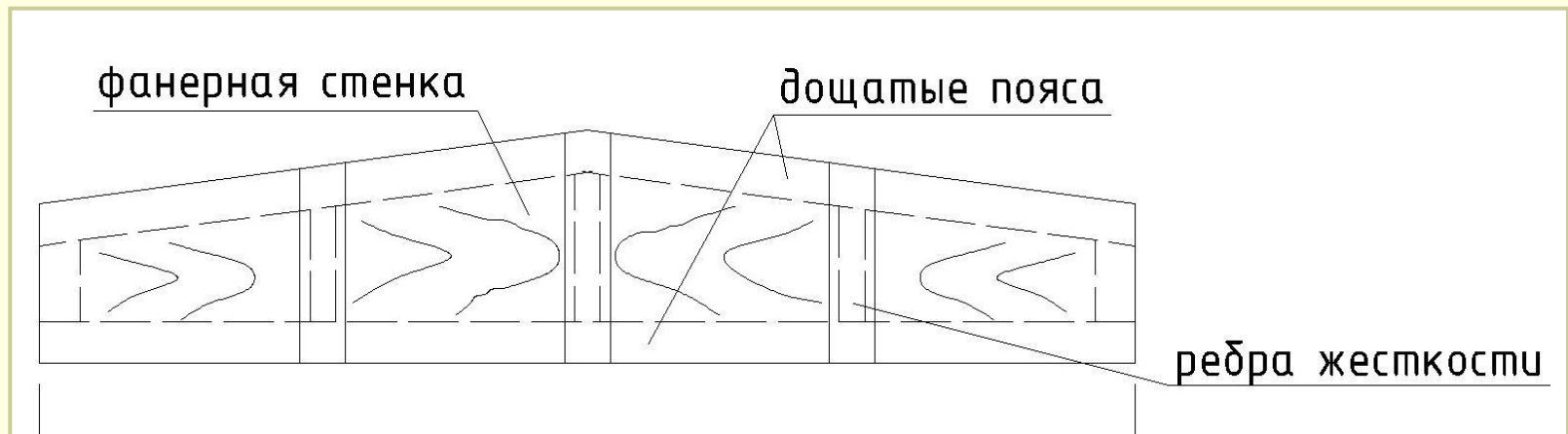
$$\frac{M}{W_{пр.а}} \leq R_a$$

$W_{пр.а}$ – момент сопротивления сечения приведенный к материалу арматуры.



6.2.5 Клеефанерные балки

- Как правило состоят из дощатых поясов и плоской стенки, выполняемой из водостойкой строительной фанеры толщиной не менее 8 мм.
- Пояса балок выполняются из вертикальных слоев пиломатериала толщиной не более 33 мм.
- Балки делают постоянной высоты, одно- и двускатные, а также с криволинейным верхним поясом.
- Уклон верхних поясов должен быть не менее 25%. Высота балок составляет $(1/8...1/12)L$.



- Достоинства:

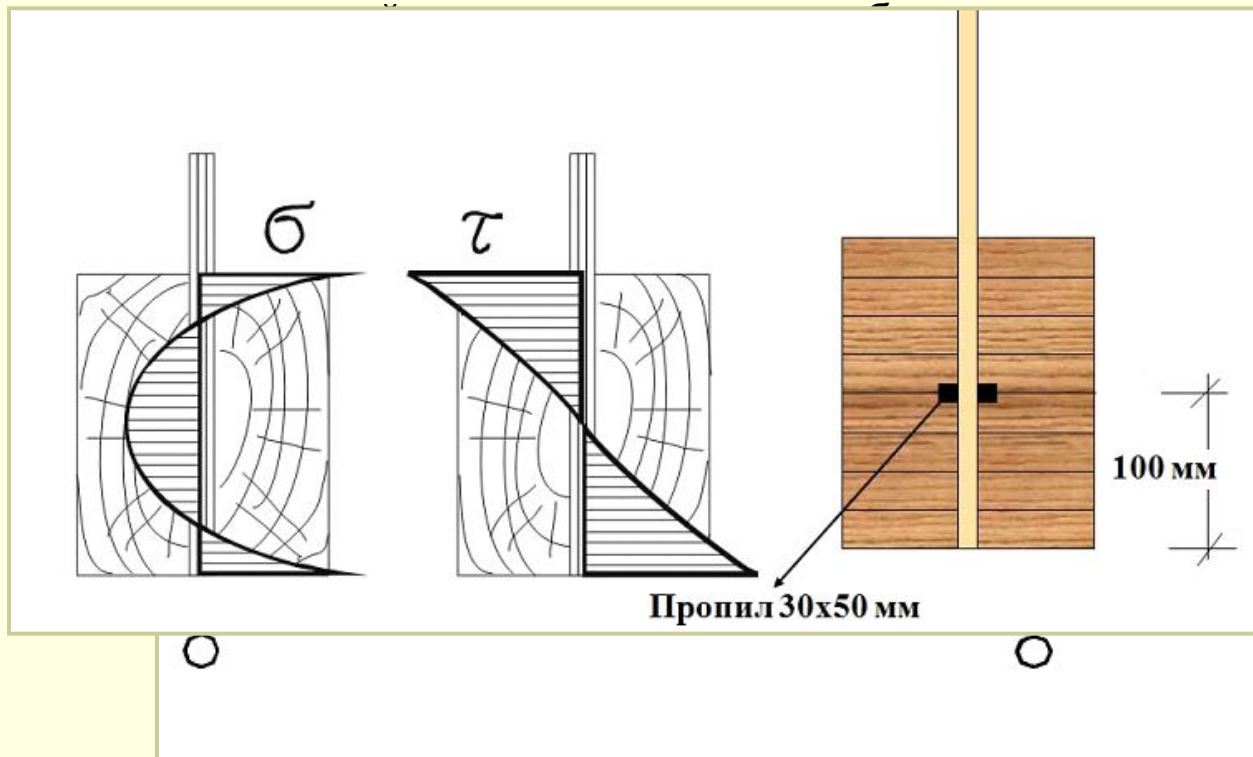
- в 2...2,5 раза легче дощатоклееных балок;
- рационально используется древесина – сосредоточена в зонах максимальных напряжений изгиба;
- фанерные стенки работают на срез надежнее, чем древесина на скалывание.

- Недостатки:

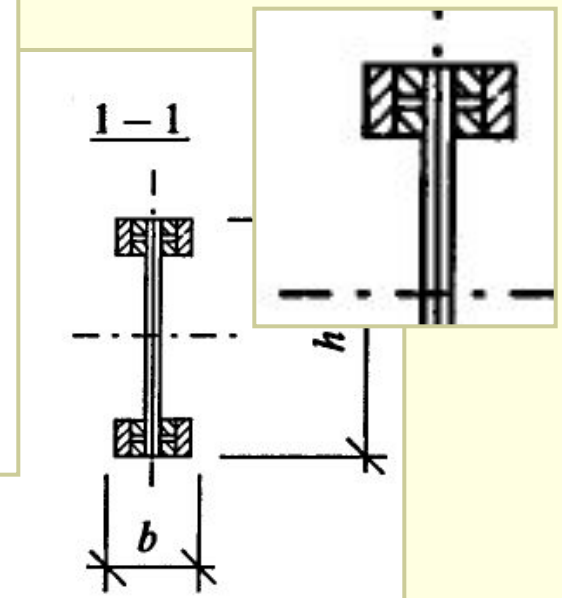
- более высокая трудоемкость изготовления по сравнению с дощатоклееными;
- высокая стоимость фанеры;
- невысокий предел огнестойкости;
- требуют специальных конструктивных мер по обеспечению устойчивости тонких фанерных стенок.

Особенности конструирования:

- если высота поясов превышает 100 мм, в них следует предусматривать горизонтальные пропилы со стороны стенок;
- для обеспечения устойчивости тонкой фанерной стенки устанавливаются ребра жесткости на расстоянии $(1/8...1/10)L$ друг от друга; их желательно совмещать со стыками фанеры;



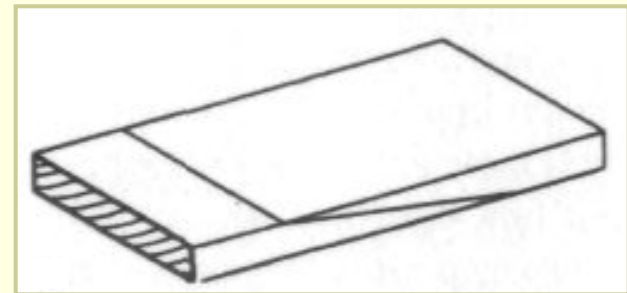
устанавливается подкос
из плоскости балки,



- При конструировании клефанерных балок направление волокон наружных шпонов фанеры рекомендуется ориентировать параллельно поясам.
- Продольное расположение волокон наружных шпонов позволяет стыковать фанерные листы на «ус», что является надежным исполнением клеевого соединения стенки.



Направление волокон наружного шпона фанеры



Стык на «ус»

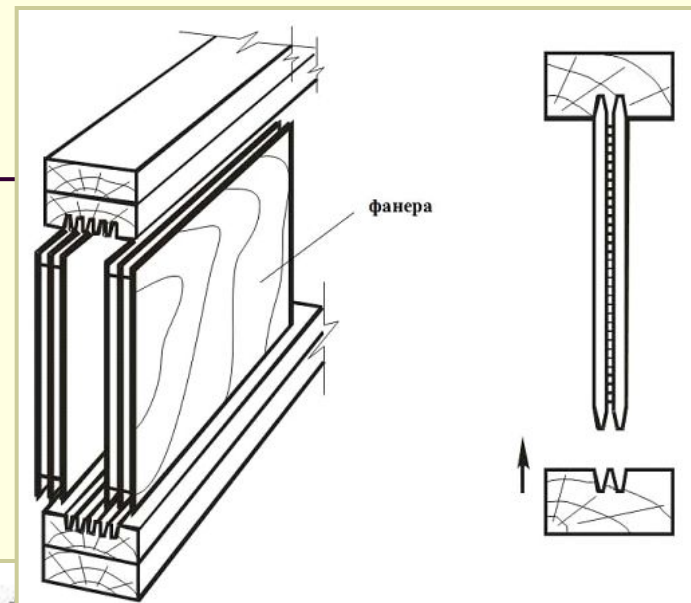
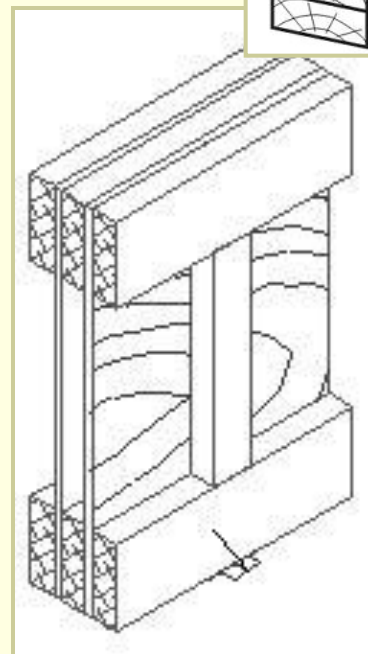
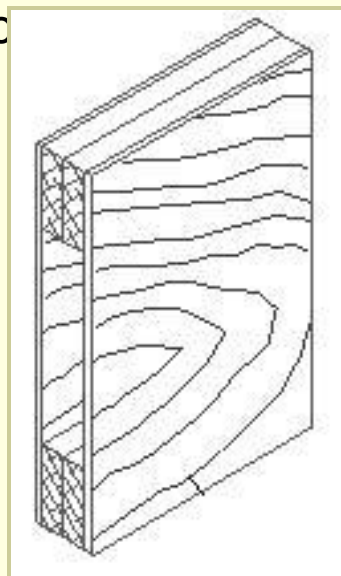
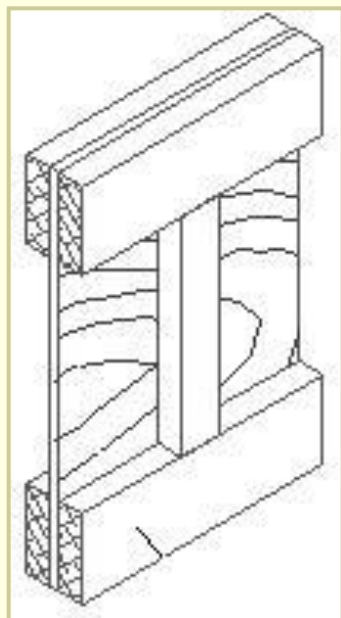
■ Сечения клефанерных балок:

а – двутавровое;

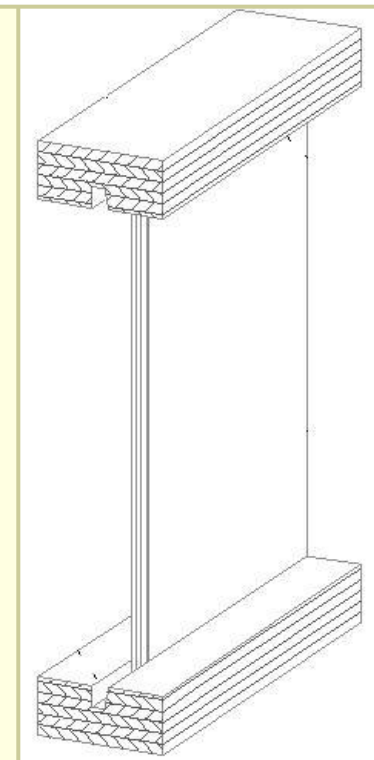
б – коробчатое;

в – двутаврово-коробчатое;

г – двутавровое



ернс



Расчет ведется по приведенным к древесине поясов геометрическим характеристикам сечения.

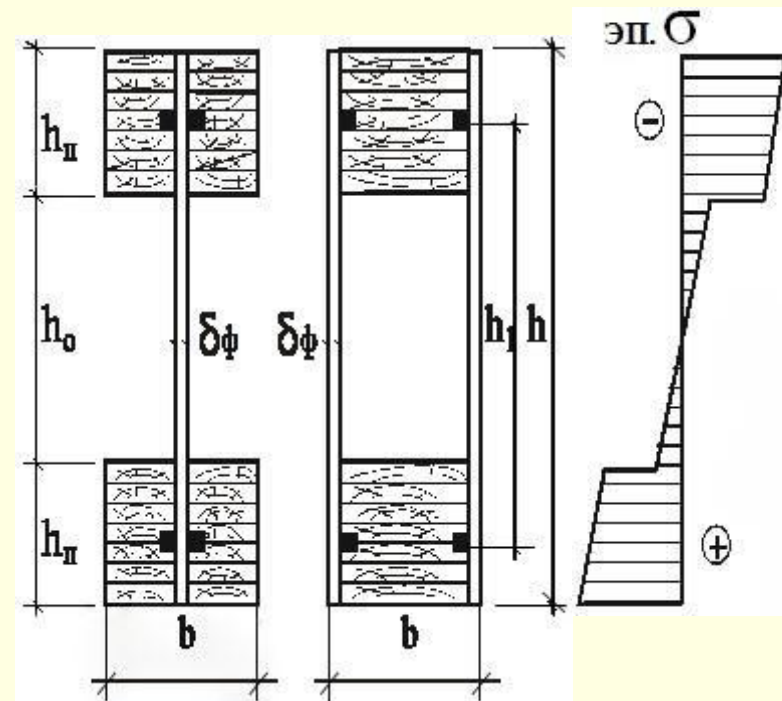
Выполняют следующие проверки.

1. Прочность на максимальные нормальные напряжения нижнего пояса из древесины и фанерной стенки, ослабленной стыком.

$$\frac{M}{W_{np}} \leq R_p$$

2. Устойчивость верхнего сжатого пояса.

$$\frac{M}{\varphi \cdot W_{np}} \leq R_c$$



3. Прочность стенки на срез по нейтральной оси (максимальные касательные напряжения)

$$\frac{QS_{пр}}{I_{пр}b_{расч}} \leq R_{ск}$$

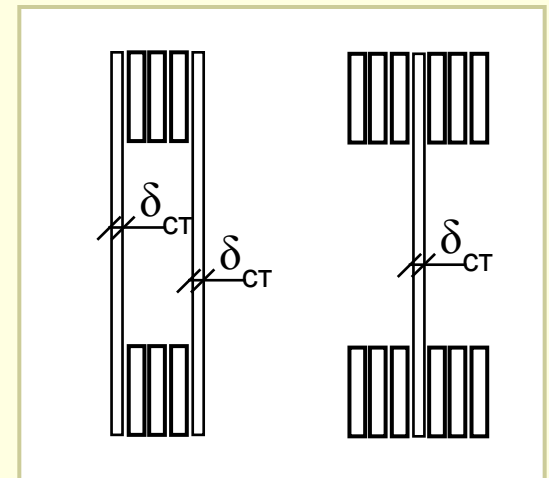
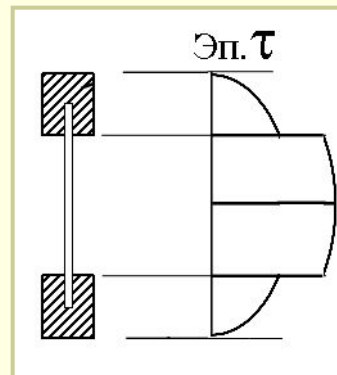
где:

$S_{пр}$ – статический момент полусечения приведенный к фанере;

$I_{пр}$ – момент инерции сечения приведенный к фанере;

$R_{ск} = R_{ф.ср}$ – расчетное сопротивление фанеры срезу перпендикулярно плоскости листа с учетом направления волокон наружных слоев;

$b_{расч} = \sum \delta_{ст}$ – суммарная толщина стенок балки.



4. Прочность клеевых швов между стенкой и поясами на скалывание

$$\frac{QS_{пр}}{I_{пр}b_{расч}} \leq R_{ск}$$

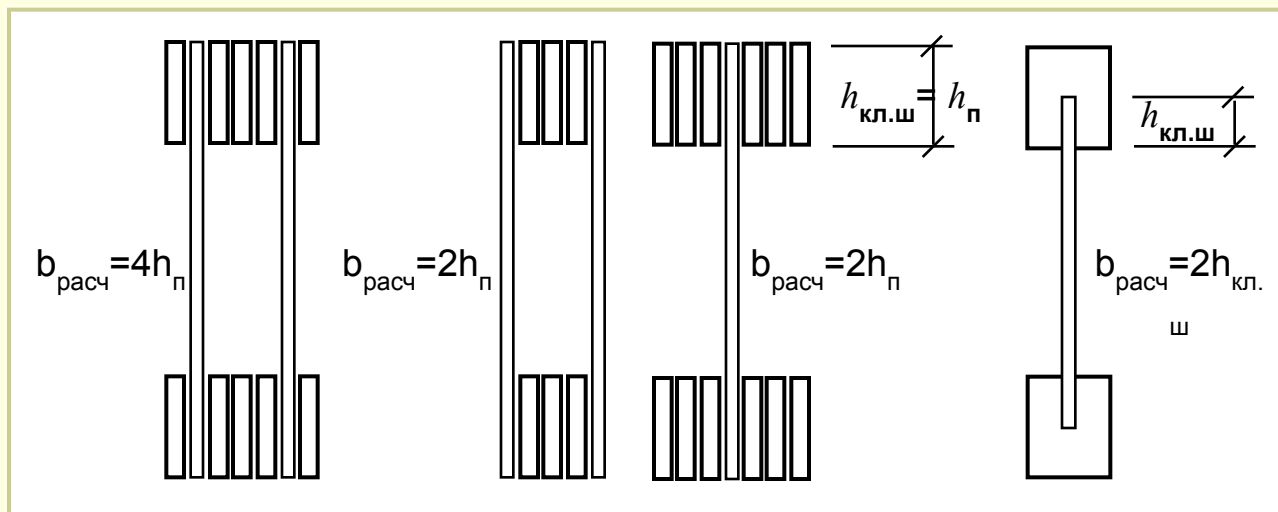
где:

$S_{пр}$ – статический момент пояса приведенный к фанере;

$I_{пр}$ – момент инерции сечения приведенный к фанере;

$R_{ск} = R_{ф.ск}$ – расчетное сопротивление фанеры скалыванию в плоскости листа с учетом направления волокон наружных слоев;

$b_{расч} = n \cdot h_{кл.ш.}$ – суммарная длина клеевых швов между стенкой и поясом.



5. Проверяется стенка в опасных сечениях:

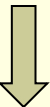
- **прочность** на действие главных растягивающих напряжений

$$\frac{\sigma_{cm}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cm}}{2}\right)^2 + \tau_{cm}^2} \leq R_{\phi.p.a}$$

- **устойчивость** на действие касательных и нормальных напряжений при расположении волокон наружных слоев вдоль оси элемента

$$\frac{\sigma_{cm}}{k_u \left(\frac{100\delta}{h_{cm}}\right)^2} + \frac{\tau_{cm}}{k_r \left(\frac{100\delta}{h_{расч}}\right)^2} \leq 1$$

при расположении волокон наружных слоев поперек оси элемента - по той же формуле, но на действие только касательных напряжений.



6. Проверка по максимально допустимым прогибам

$$\frac{f}{L} \leq \left[\frac{f}{L} \right]$$

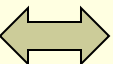
$[f/L]$ – предельно допустимый прогиб;

f – максимальный прогиб шарнирно-опертых и консольных балок

$$f = \frac{f_0}{k} \left[1 + c \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]$$

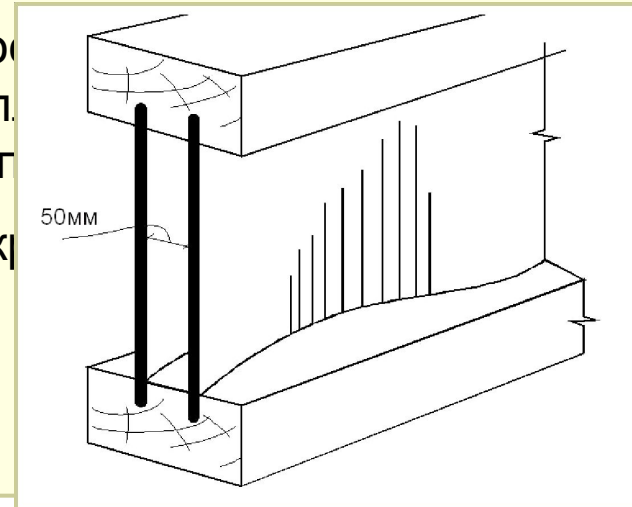
f_0 – прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига

$$f_0 = \alpha \cdot \frac{q_n L^4}{0,7 \cdot EI_{np}}$$

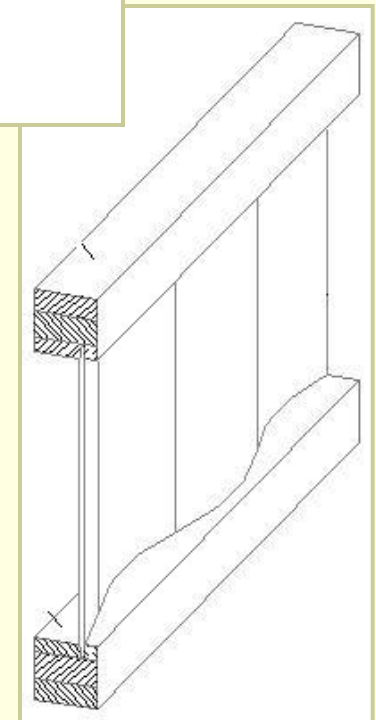
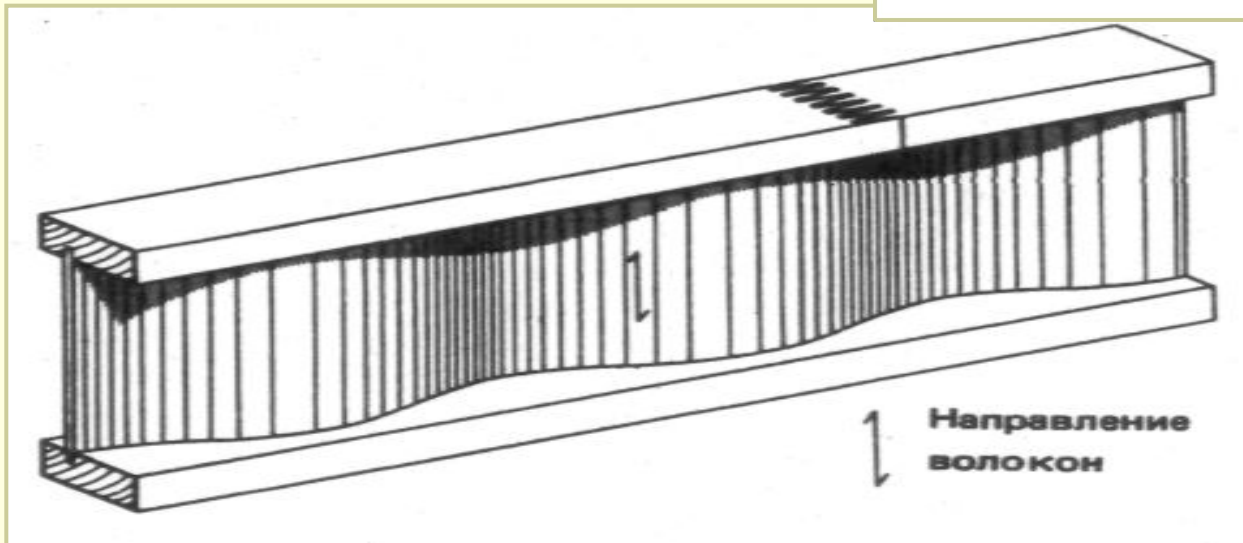


Клеефанерная балка с волнистой стенкой

- Пояса состоят из одиночных досок и располагаются горизонтально по длине балки, выбираются волнистые профили
- Фанерная стенка клеится к поясам в волнистую форму.



Они
по длине



- Особенности расчета:

- благодаря волнистой форме стенка лучше сопротивляется потере устойчивости, чем плоская;
- стенка не работает на нормальные напряжения при изгибе и эти напряжения воспринимаются только поясами;
- благодаря своей форме стенка является податливой, поэтому расчет по прочности и прогибам при изгибе производят как составных балок с податливой стенкой.

$$\frac{M}{\varphi \cdot W_{\text{пр}} k_w} \leq R_c$$

$$\frac{M}{W_{\text{пр}} k_w} \leq R_p$$

$$\frac{Q_{\text{max}} \cdot S_{\text{пр}}^{\text{отс}}}{I_{\text{пр}} k_{\text{ж}} \cdot \delta_{\text{ст}}} \leq R_{\text{ф.с}} \cdot \varphi_{\text{в.ст}}$$

