

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Балки

- 1.1. Конструктивные разновидности и системы балок
- 1.2. Клеедощатые балки с постоянной высотой поперечного сечения
- 1.3. Двускатные клеедощатые балки
- 1.4. Пространственное раскрепление балок
- 1.5. Примеры опорных узлов балок
- 1.6. Армированные балки
- 1.7. Клеефанерные балки с плоской стенкой
- 1.8. Клеефанерные балки с волнистой стенкой

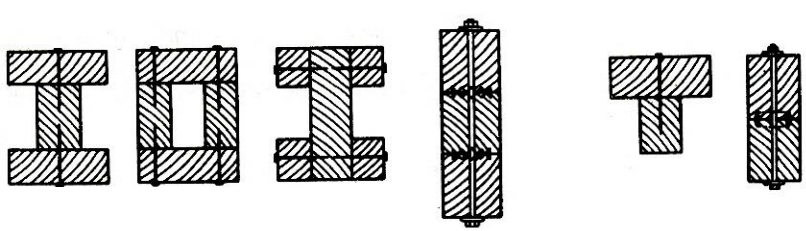
ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ:

1. Балки составного сечения на податливых связях. Конструирование и расчет
2. Новые типы сплошных плоскостных конструкций, в том числе из разномодульных материалов

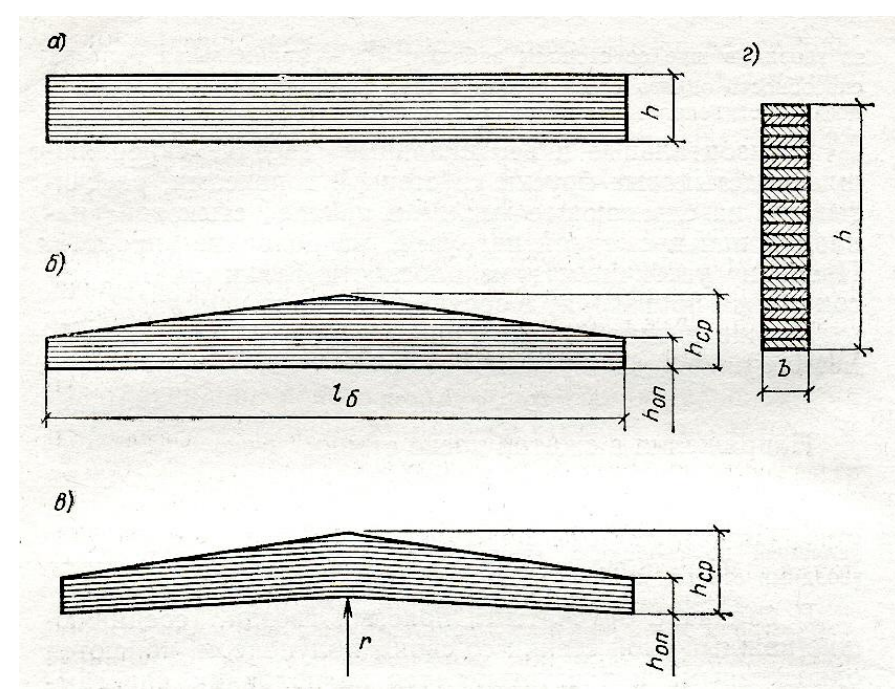
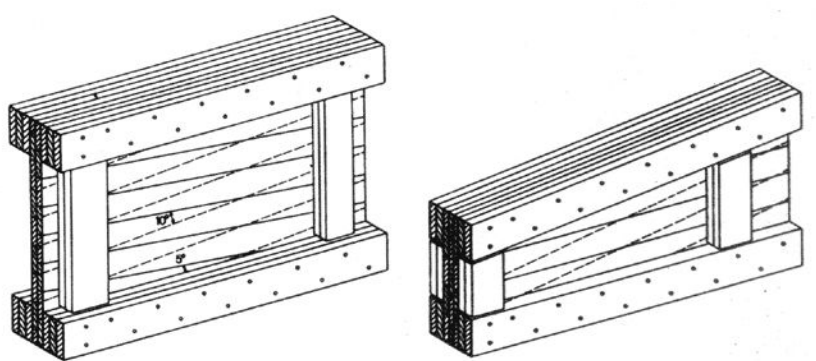
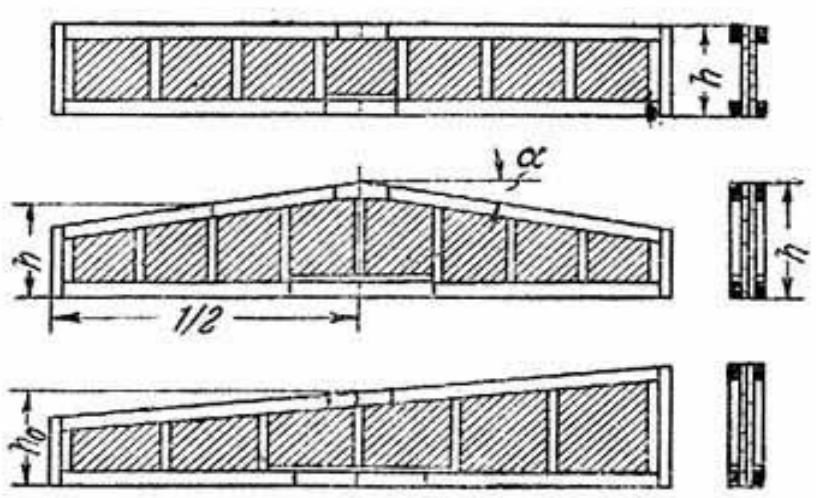
1.1. Конструктивные разновидности и системы балок

В зависимости от способа выполнения различают:

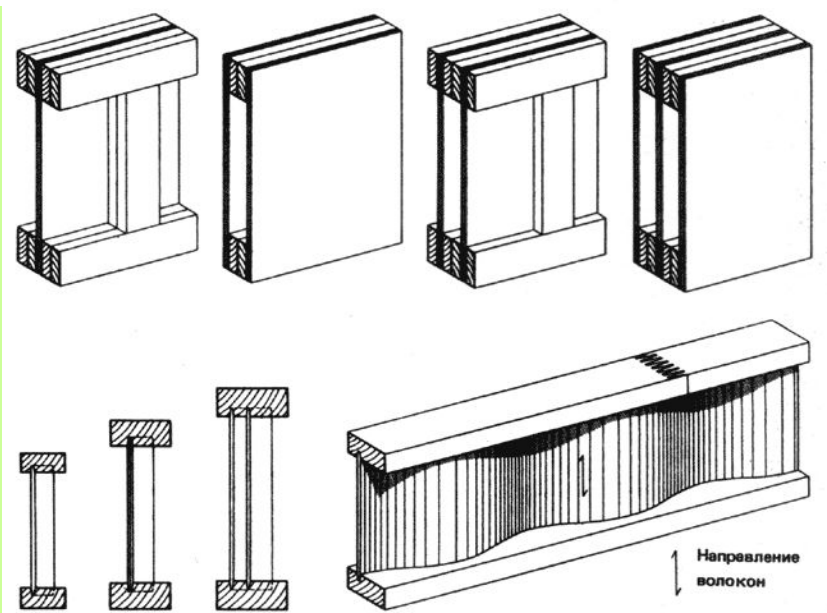
- Балки цельного сечения из бревен, брусьев или досок;
- Балки-пакеты из укладываемых друг на друга бревен или брусьев, соединенных между собой конструктивными связями: стяжными болтами или другими скреплениями;
- Составные балки из брусьев, бревен или досок, соединенных податливыми рабочими связями (нагельями, гвоздями, нагельными пластинками, шпонками и т.д.);
- Клееные балки, изготавливаемые из досок, из досок и листовых материалов – фанеры, LVL, OSB или только из листовых материалов.



Балки с дощато-гвоздевой перекрестной стенкой



Балки со стенками из листовых материалов



1.2. Клеедощатые балки

Клеедощатые балки являются конструкциями заводского изготовления. Их используют в качестве несущих конструкций жилых, общественных, сельскохозяйственных и промышленных зданий пролетами *6...24 м*. Однако пролет клеедощатых балок может достигать и 60 м – в мостовых сооружениях, в покрытиях уникальных зрелищных и спортивных зданий.

Клеедощатые балки имеют следующие достоинства:

- Монолитность;
- Большой диапазон высот поперечного сечения;
- Возможность применения досок разных сортов без уменьшения несущей способности;
- Простота конструктивной схемы покрытий при одновременном многообразии конструктивных форм.

Толщина ламели *33 мм*, допускается в прямолинейных балках толщина ламели *42 мм*.

Высоту балок принимают в пределах

$$h = \left(\frac{1}{8} \boxtimes \frac{1}{12} \right) l \quad (\text{пролета})$$

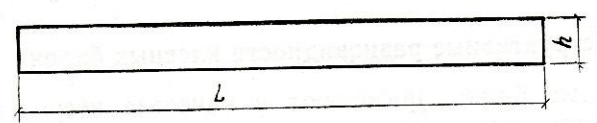
Ширину балок принимают минимальной:

- из условия обеспечения монтажной жесткости;
- из условия опирания панелей или прогонов

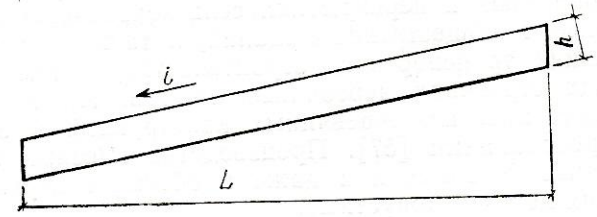
$(55+55+20)=130 \text{ мм.}$

Как правило не менее $1/8 h$.

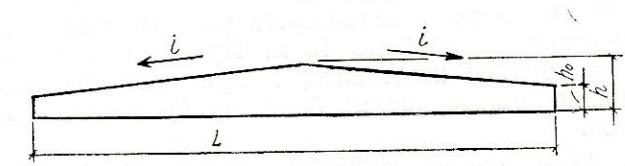
Уклон верхней грани двускатных балок $i=2,5 \dots 10,0\%$.



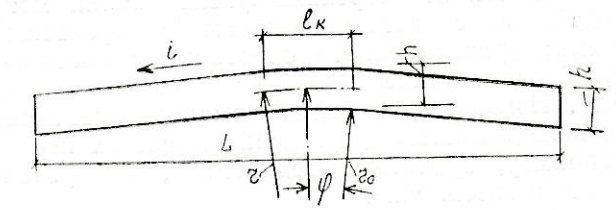
Горизонтальная балка с постоянной высотой сечения.



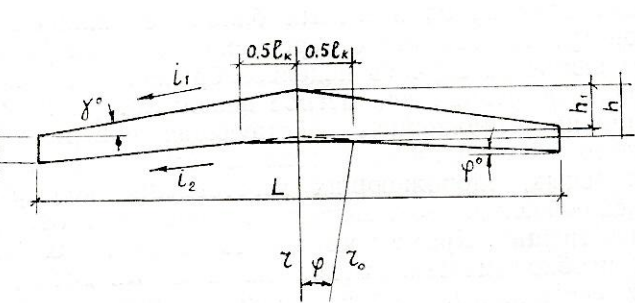
Наклонная балка с постоянной высотой сечения.



Двускатная балка с переменной высотой сечения.

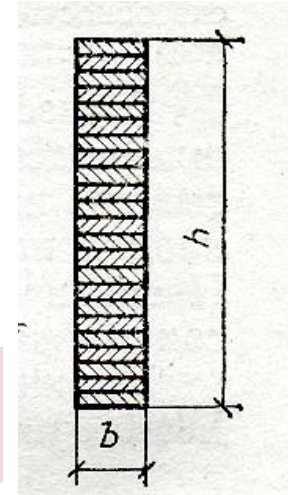
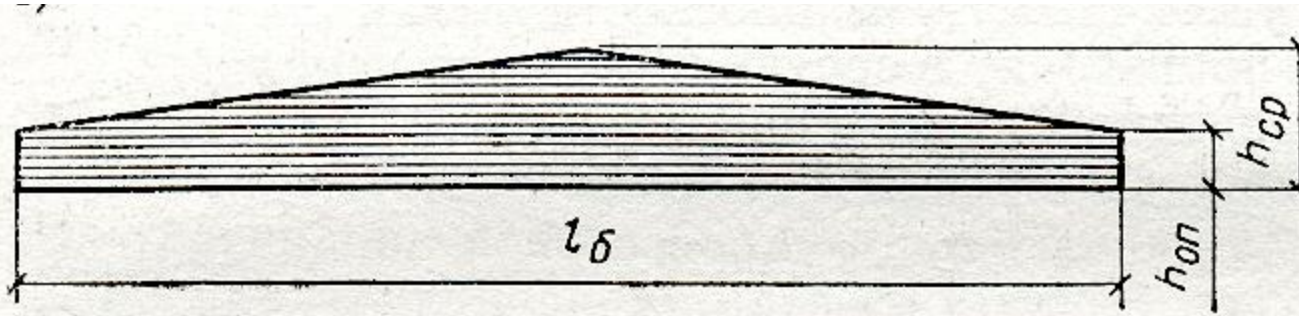


Двускатная гнутоклееная балка с постоянной высотой сечения.



Двускатная гнутоклееная балка с переменной высотой сечения.

1.3. Двускатные клеенодощатые балки



Двускатные прямолинейные балки собирают из слоев разной длины и после отверждения клея опиливают по скатам.

Высоту балок рекомендуется назначать кратной 10 мм, а на опорах, примыкающих к стеновым ограждениям следует соблюдать условие

$$h_o = h_{cp} - 0,5 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \alpha \geq 0,4 h_{cp}$$

При изготовлении балок допускается сочетать древесину двух сортов, используя в крайних зонах на *0,15 высоты* поперечного сечения древесину *2 сорта*, а в средней части – *3 сорта*.

Рекомендуется также в растянутой зоне на *0,15 высоты* сечения применять слои толщиной *20 мм*, что обеспечивает увеличение несущей способности балки на *15...20%*.

В двускатных балках при равномерно распределенной нагрузке сечение с максимальным нормальных напряжением не совпадает с положением максимального момента. Это сечение находят из общего выражения для нормальных напряжений

$$\sigma_u = \frac{M_x}{W_x} = \frac{\frac{q \cdot l}{2} x - \frac{q \cdot x^2}{2}}{b(h_o + x \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2} = \frac{6 \cdot q \cdot x(l - x)}{2b(h_o + x \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}$$

Вспомнив, что функция имеет экстремум при значении аргумента, соответствующем условию равенства нулю ее производной, найдем, что указанное сечение отстоит от опоры на расстоянии

$$x = \frac{l \cdot h_o}{2 \cdot h_{cp}}$$

В этом сечении проверяют прочность балки по нормальным напряжениям

$$\sigma_u = \frac{M}{W_{нт}} \leq m_b \cdot m_{сл} \cdot R_u$$

Проверяют устойчивость плоской формы деформирования балки в сечении с максимальным моментом. В случае равномерно распределенной нагрузки – в середине пролета

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{\varphi_M \cdot W_{br}} \leq m_b \cdot m_{cl} \cdot R_u$$

Где коэффициент φ_M для балок, шарнирно закрепленных от смещения из плоскости изгиба и закрепленных от поворота вокруг продольной оси

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\phi$$

где l_p - расстояние между опорными сечениями элемента, а при закреплении сжатой кромки элемента в промежуточных точках от смещения из плоскости изгиба - расстояние между этими точками;

b - ширина поперечного сечения;

h - максимальная высота поперечного сечения на участке l_p ;

k_ϕ - коэффициент, зависящий от формы эпюры изгибающих моментов на участке l_p , определяемый согласно указаниям норм.

$$\tau = \frac{QS'_{бр}}{I_{бр}b_{рас}} \leq R_{ск}$$

где Q - расчетная поперечная сила;
 $S'_{бр}$ - статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$ - момент инерции брутто поперечного сечения элемента (на опоре) относительно нейтральной оси;

$b_{рас}$ - расчетная ширина сечения элемента;

$R_{ск}$ - расчетное сопротивление скалыванию при изгибе

Прогиб двускатных балок определяют с учетом переменного по длине момента инерции поперечного сечения

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

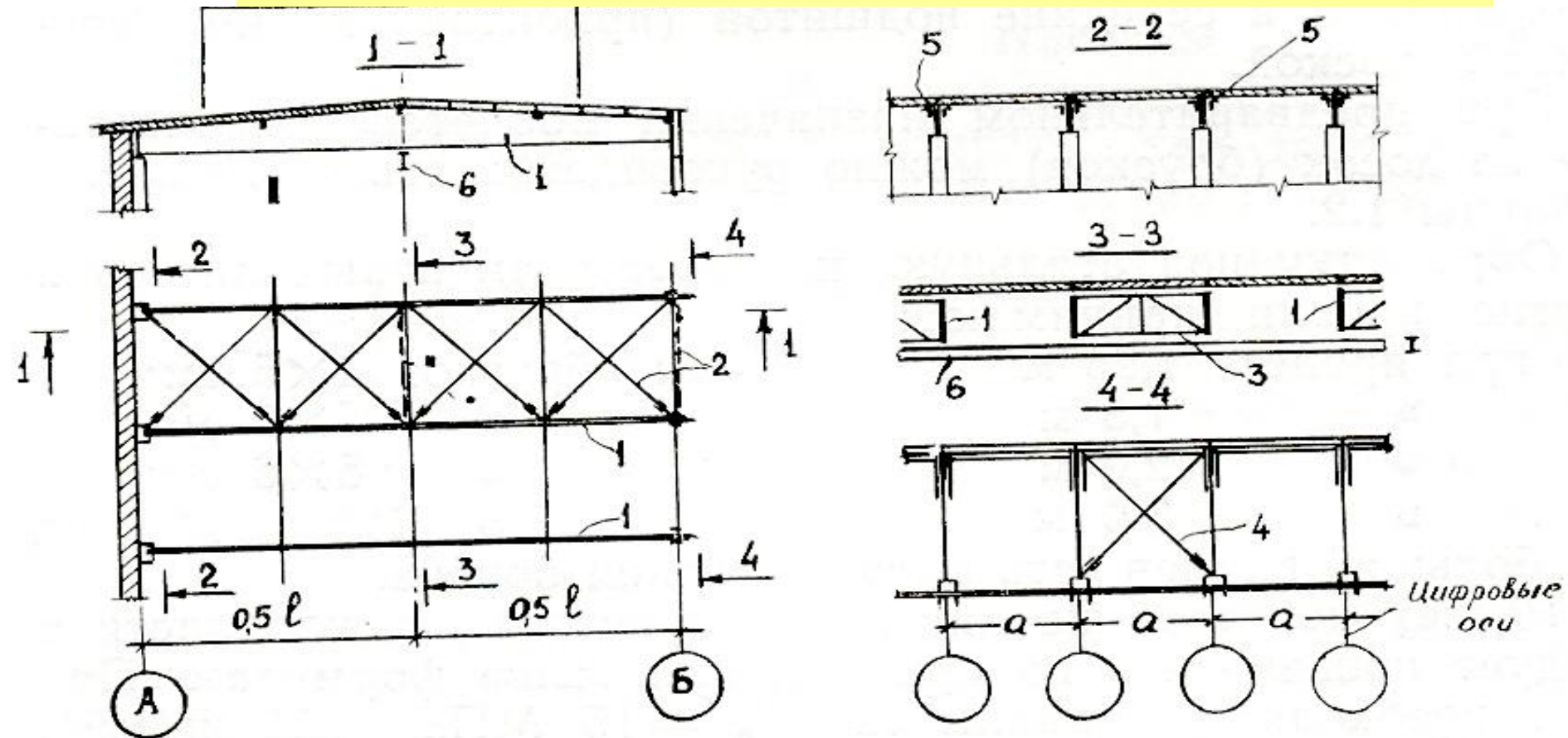
где f_0 - прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига; h - наибольшая высота сечения; l - пролет балки;

k - коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения;

c - коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы.

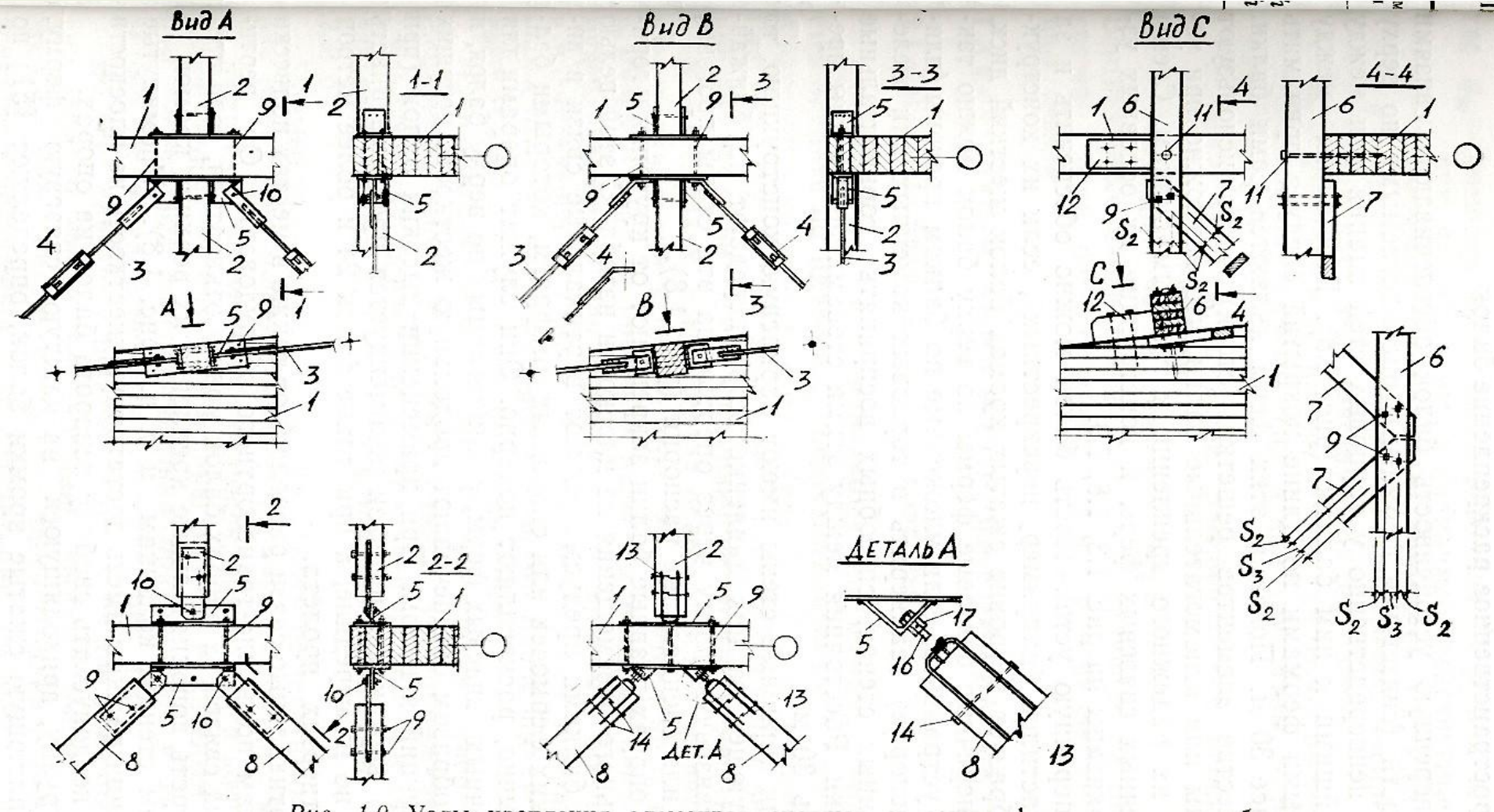
Значения коэффициентов k и c для основных расчетных схем балок приведены в приложении норм.

1.4. Пространственное раскрепление балок

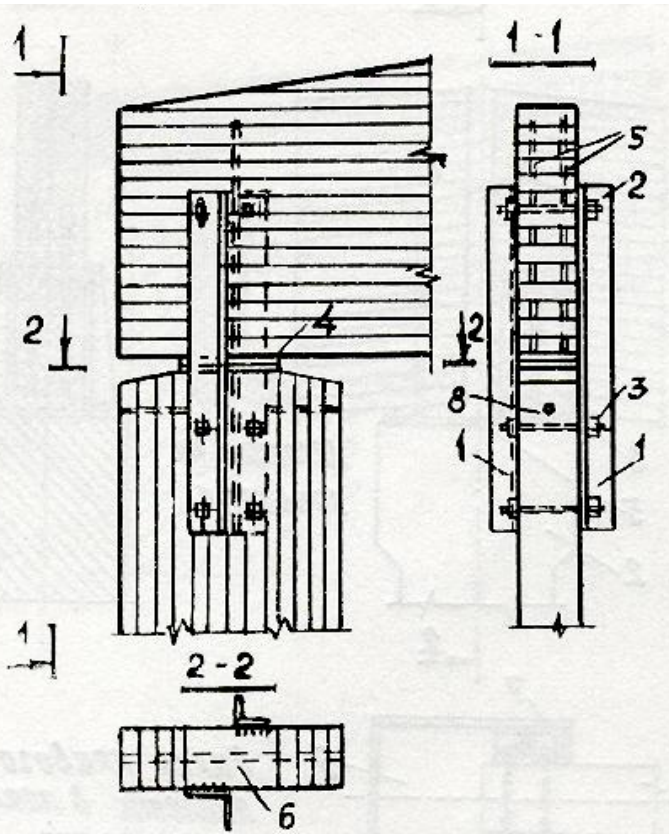


1 - балки; 2 – скатная связевая ферма со стальными раскосами из круглой стали и деревянными распорками; 3 – вертикальные связи между балками; 4 – вертикальные связи между стойками стены; 5 – анкера из уголков, заделанных в стену, исключая поворот балок на опорах из плоскости изгиба; 6 – монорельс, подвешенный к балкам

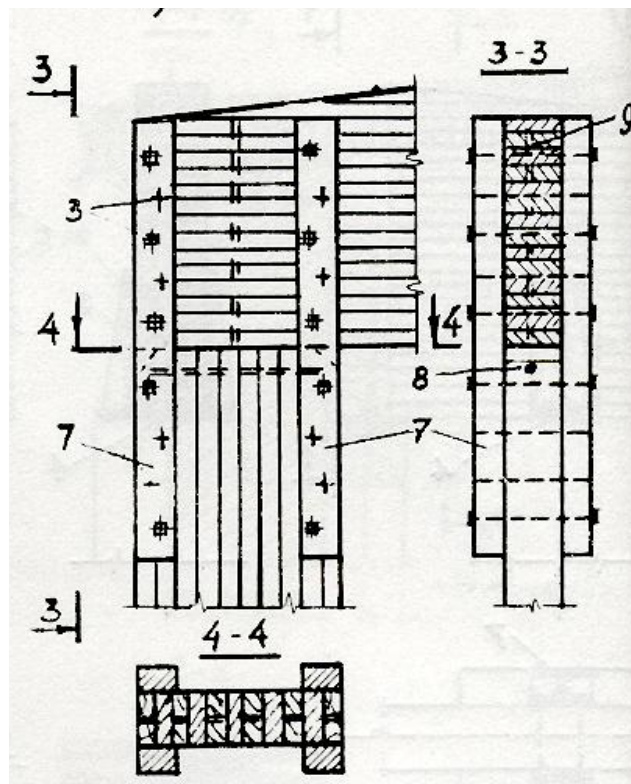
Лекция 14 1 – балка; 2 – распорка; 3 – тяж из круглой стали; 4 – муфта;
№14/11



5 – сварной башмак; 6 – прогон; 7 – раскос полураскосной связевой фермы; 8 – раскосы связевой фермы с треугольной решеткой; 9 – нагельные болты (шпильки); 10 – черные болты; 11 – винт на клее; 12 – бобышка на гвоздях; 13 – U-образная деталь из полосовой стали; 14 – дюбели-гвозди; 15 – стальная пластина

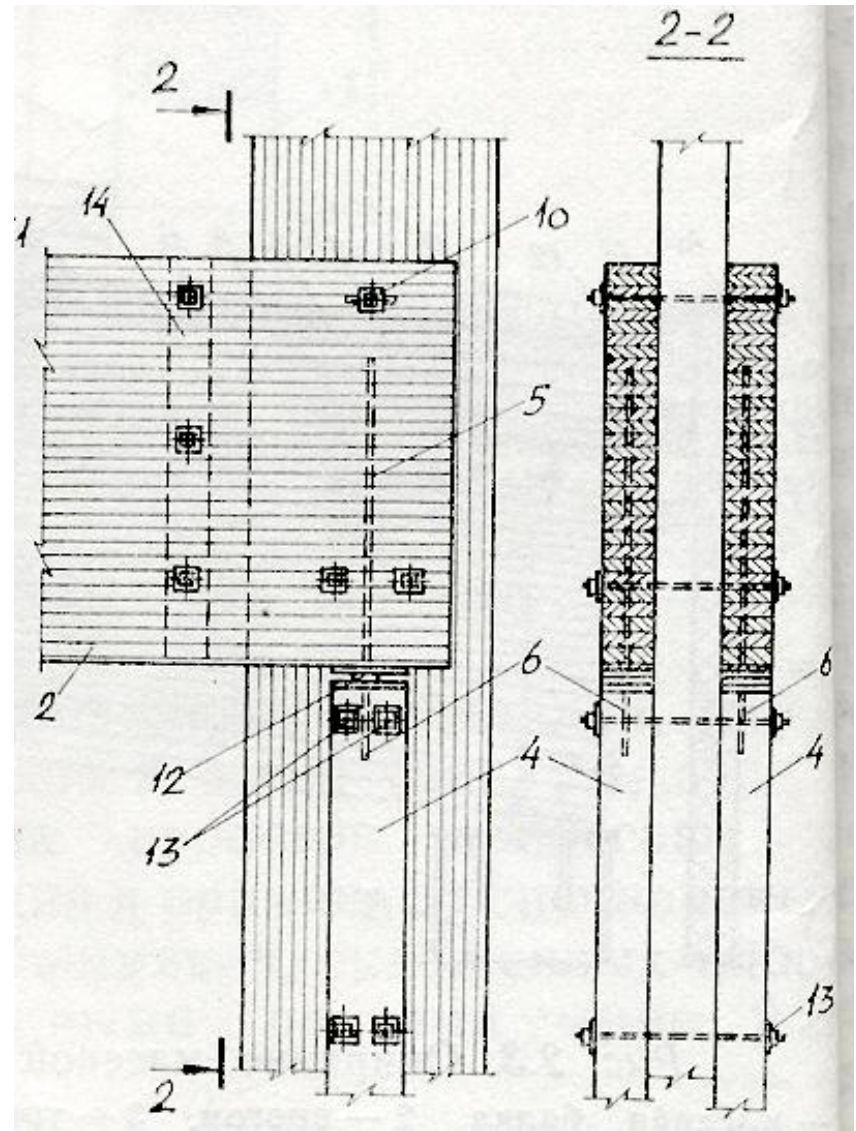
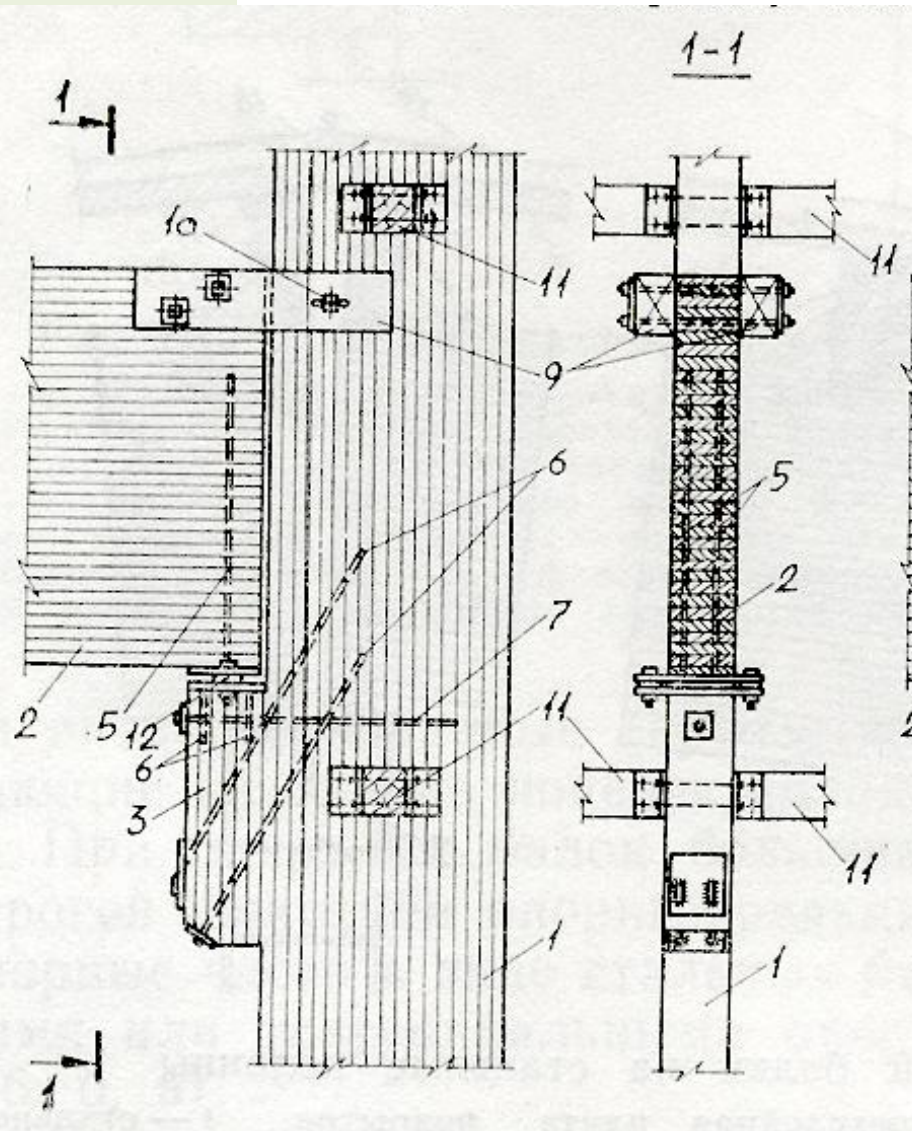


С передачей усилий через опорные стальные плиты

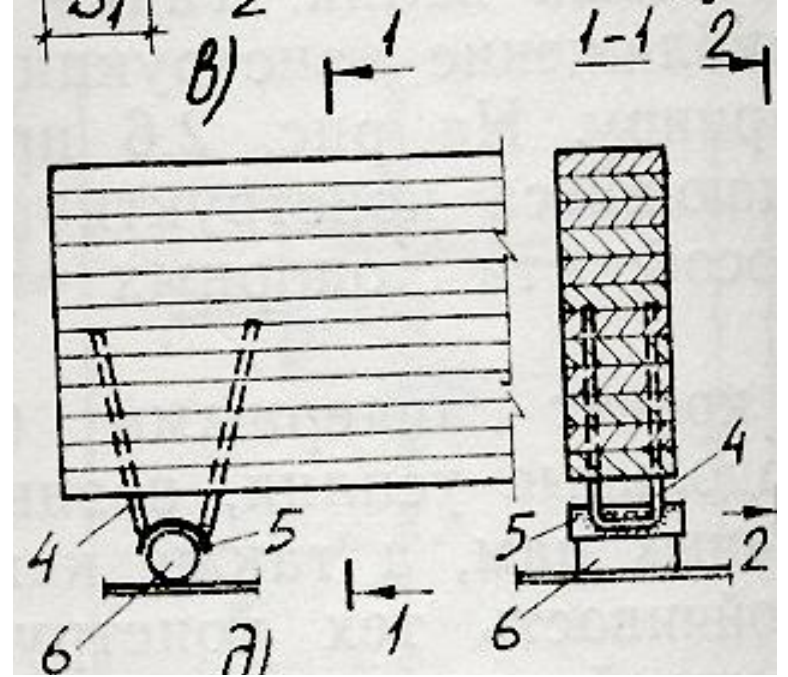
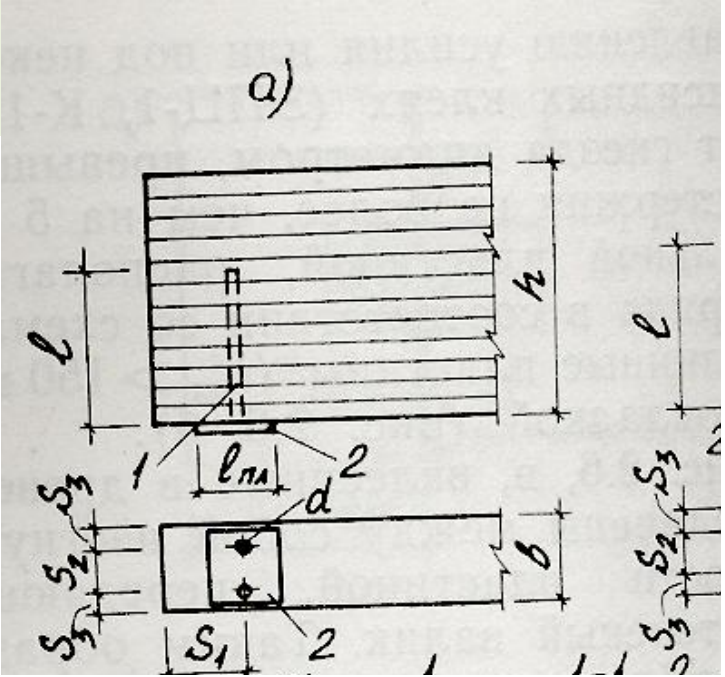


С передачей опорного давления непосредственно на торец колонны

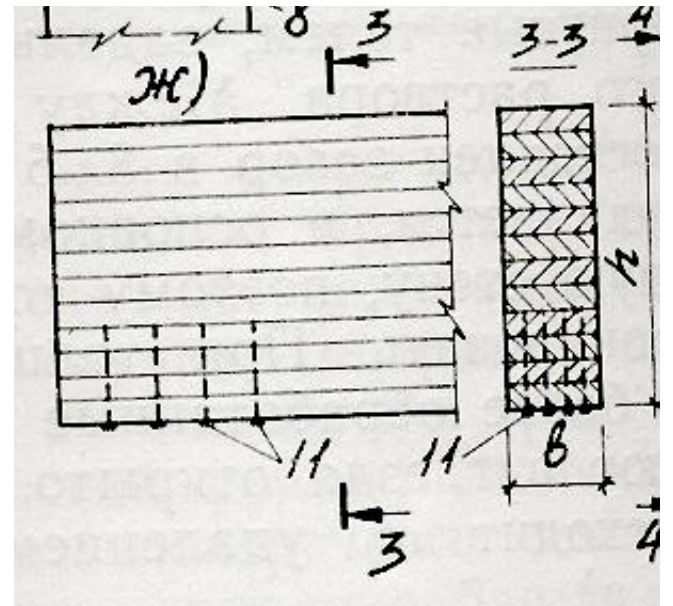
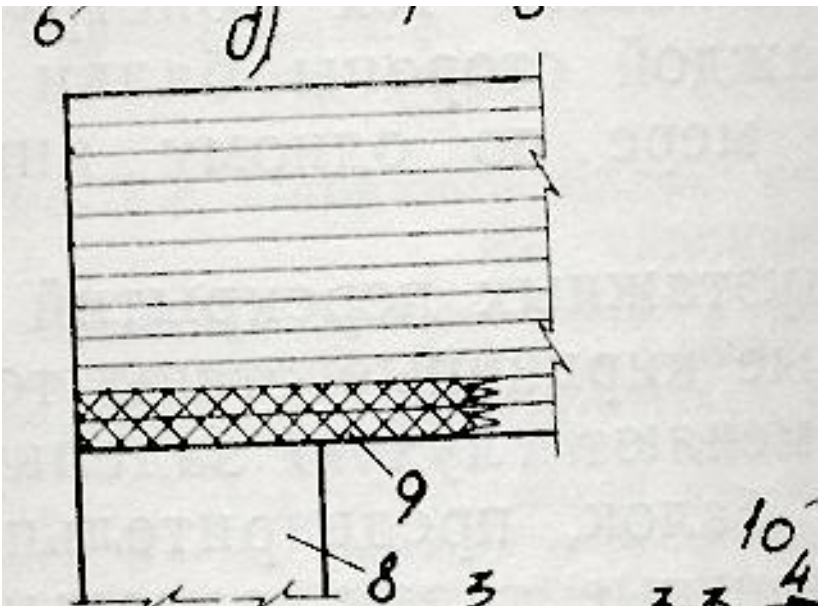
1 – уголки; 2 – болты в овальных отверстиях уголков; 3 – нагельные болты; 4 – опорная плита; 5 – стержни, вклеенные в древесину и приваренные к опорной плите; 6 – опорная плита колонны, приваренная к уголкам; 7 – деревянные накладки; 8 и 9 стержни, вклеенные в колонну и балку, соответственно.



Опираение на колонны сбоку

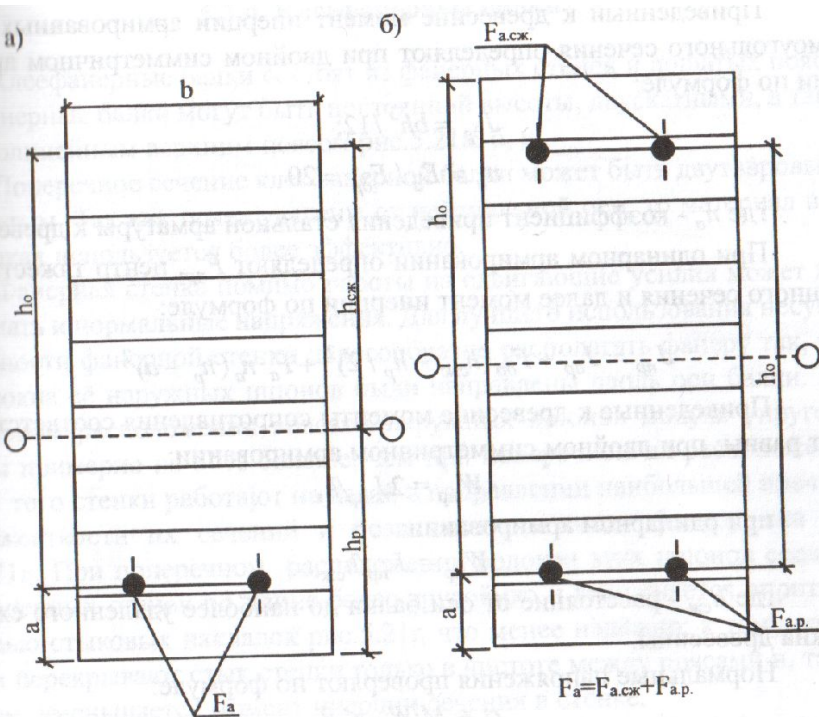


Способы усиления опорных зон клеестолятых балок



1.6. Армированные балки

Клееные балки могут быть армированы стальными или стеклопластиковыми стержнями, располагаемыми в крайних зонах поперечного сечения. При этом достигается минимальная строительная высота, что важно, например, при устройстве покрытий.



В качестве продольной арматуры применяют сталь класса А-II и А-III, стержневой стеклопластик АГ-4С.

Армирование может быть выполнено на части длины или по всей длине балки. Процент армирования для стали не должен превышать **2...3%**, для стеклопластика - **4%**.

Пазы для арматуры фрезеруют в досках, размещаемых в крайних зонах поперечного сечения. Пазы выполняют овальными или прямоугольными с размерами не превышающими диаметр арматуры на **1,0...1,5 мм**. Крайние доски приклеивают после вклеивания арматуры.

Рассчитывают армированные деревянные конструкции по приведенным геометрическим характеристикам, а поперечное сечение рассматривают как цельное.

$$I_{np.\partial} = I_{\partial p} + F_a \cdot \mu_{\partial} \cdot \left(\frac{h_0}{2}\right)^2$$

Где коэффициент приведения к древесине

$$\mu_{\partial} = \frac{F_a}{F_{\partial}}$$

Проверка прочности древесины по нормальным изгибным напряжениям

$$\sigma_u = \frac{M}{W_{np.\partial}} \leq R_u$$

Проверка прочности древесины по скалывающим напряжениям

$$\frac{QS'_{np.\partial}}{I_{np.\partial} b} \leq R_{ск}$$

где Q - расчетная поперечная сила;

$S'_{пр.д}$ – приведенный к древесине статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{пр.д}$ – приведенный к древесине момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

b - расчетная ширина сечения элемента;

$R_{ск}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию при изгибе.

Проверка прогиба

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

где f_0 - прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига;

h - наибольшая высота сечения;

l - пролет балки;

k - коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения, принимаемый равным 1 для балок постоянного сечения;

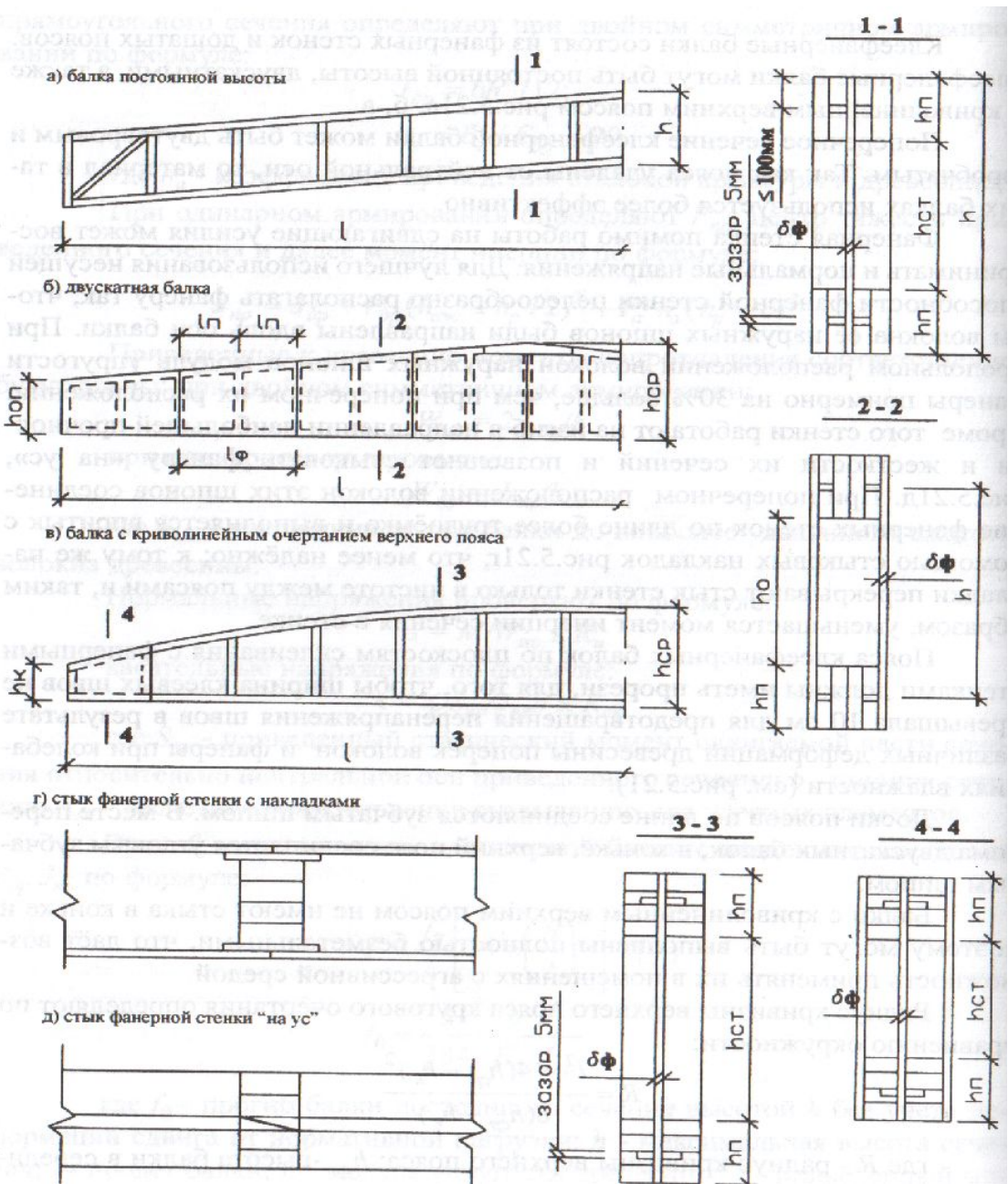
c - коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы.

1.7. Клеефанерные балки с плоской стенкой

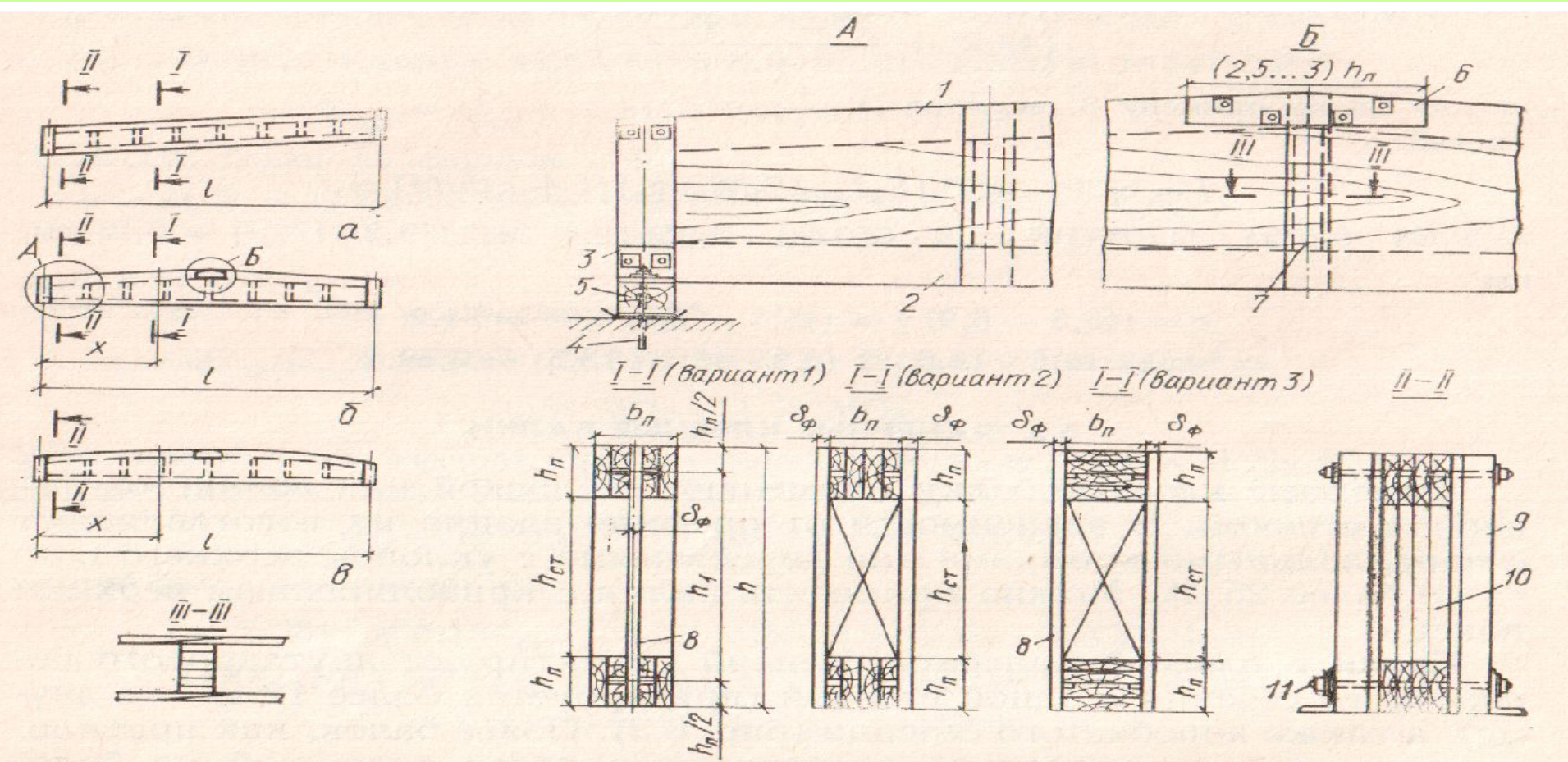
Клеефанерные балки состоят из фанерных стенок и дощатых поясов. Они могут быть постоянной высоты, переменной высоты, а также с криволинейным верхним поясом.

Листы фанеры рекомендуется располагать так, чтобы волокна рубашек были направлены вдоль пролета.

Клеефанерные балки с плоской фанерной стенкой рекомендуется использовать для пролетов до **15 м**. Их высоту назначают в пределах. **(1/8-1/12)l**



Толщину стенок принимают не менее **8 мм**. Доски поясов могут располагаться как горизонтально, так и вертикально. По плоскостям склеивания с фанерными стенками пояса должны иметь прорезы для того, чтобы ширина клеевых швов не превосходила **10 см** для предотвращения перенапряжения швов при колебаниях температуры и влажности.



Жесткость фанерной стенке обеспечивается дощатыми ребрами жесткости, располагаемыми в коробчатых балках в полости между двумя фанерными стенками, а в двутавровых - по обе стороны стенки. По длине ребра ставятся с шагом, равным ***1/8-1/10 пролета***.

Расчет клеефанерных балок с дощатыми ребрами жесткости производится по приведенным характеристикам поперечного сечения: приведенные к древесине.

Проверка прочности нижнего растянутого пояса

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{np.d}} \leq R_p$$

Проверка устойчивости верхнего сжатого пояса

$$\sigma_c = \frac{M}{\varphi_y \cdot W_{np.d}} \leq R_c$$

Где коэффициент продольного изгиба

φ_y

Устанавливается в зависимости от гибкости

$$\lambda_y = \frac{l_y}{0,289 \cdot h_n}$$

$$\sigma_{u.\phi} = \frac{M}{W_{np.\phi}} \leq R_{u.\phi}$$

Проверка прочности первого стыка фанеры на действие главных растягивающих напряжений (в зоне первого поперечного ребра на уровне внутренней кромки пояса):

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

где $R_{\phi.p.\alpha}$ - расчетное сопротивление фанеры растяжению под углом α , определяемое по графику приложения Д;

$\sigma_{ст}$ - нормальное напряжение в стенке от изгиба на уровне внутренней кромки поясов;

$\tau_{ст}$ - касательные напряжения в стенке на уровне внутренней кромки поясов;

α - угол, определяемый из зависимости

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_{ст}}{\sigma_{ст}}$$

Устойчивость стенки (в первом от опоры отсеке) с продольным по отношению к оси элемента расположением волокон наружных слоев следует проверять на действие касательных и нормальных напряжений при условии

$$\frac{h_{ст}}{\delta} > 50$$

где $h_{ст}$ - высота стенки между внутренними гранями полок;
 δ - толщина стенки.

Расчет следует производить по формуле

$$\frac{\sigma_{ст}}{k_u \left(\frac{100\delta}{h_{ст}} \right)^2} + \frac{\tau_{ст}}{k_\tau \left(\frac{100\delta}{h_{рас}} \right)^2} \leq 1$$

где k_u и k_τ - коэффициенты, определяемые по графикам приложения Д;
 $h_{рас}$ - расчетная высота стенки, которую следует принимать равной $h_{ст}$ при расстоянии между ребрами $a \geq h_{ст}$ и равной a при $a < h_{ст}$.

При поперечном по отношению к оси элемента расположении наружных волокон фанерной стенки **проверку устойчивости** следует производить) на действие только касательных напряжений в тех случаях, когда

$$\frac{h_{ст}}{\delta} > 80$$

Проверка фанерной стенки на срез (в зоне опорного ребра)

$$\tau_{ск.ф} = \frac{Q_{макс} S'_{пр.ф}}{I_{пр.ф} \sum \delta_{ст}} \leq R_{ск.ф}$$

Проверка клеевого шва между стенками и фанерой

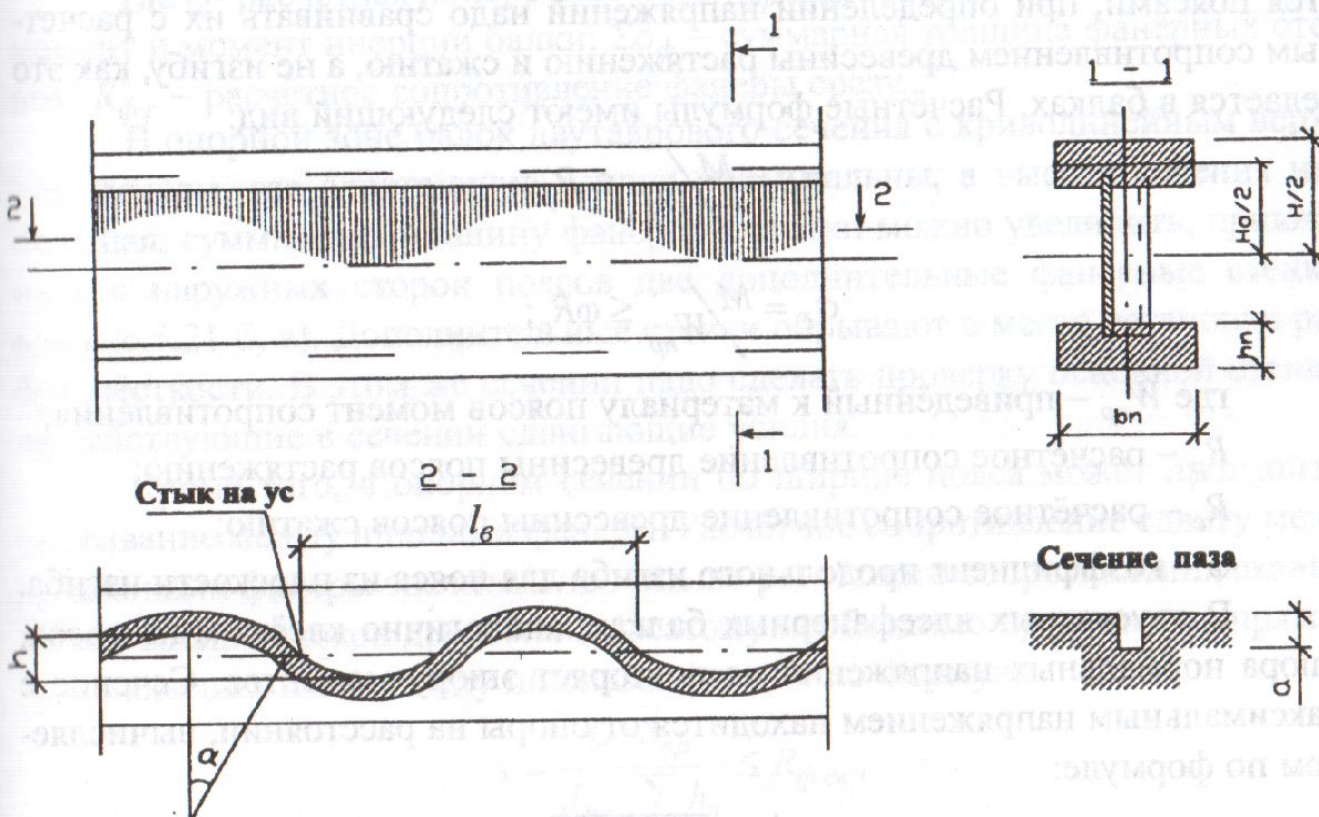
$$\tau_{шва} = \frac{Q_{макс} S'_n}{I_{пр.ф} \sum h_{шва}} \leq R_{ск.ф}$$

Проверка прогиба

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

1.8. Клеефанерные балки с волнистой стенкой

Клеефанерные балки с волнистой стенкой относятся к классу малогабаритных балок. Они имеют двутавровое сечение, постоянное по длине. Полки выполняют из деревянных прямоугольных брусков или досок, в пласть которых выбраны волнообразные по длине пазы клиновидного сечения. Фанерная стенка имеет волнистую по длине форму, которая придается ей в процессе изготовления.



Волокна наружных слоев фанеры располагаются вдоль стенки. Стенка клеится краями в пазы поясов. Благодаря волнистой форме стенка лучше сопротивляется потере устойчивости, чем плоская, и не нуждается в укреплении ее ребрами жесткости.

Глубина паза составляет не менее $2,5\delta_{\phi}$. Волокна рубашек фанеры ориентируют вдоль пролета. Листы стыкуют на ус.

Высота пояса

$$h_n = \left(\frac{1}{6} \boxtimes \frac{1}{8}\right)h$$

Высота волны

$$h_e \geq \frac{1}{3}b_n$$

При соблюдении условия

$$\frac{h_e}{l_e} = \frac{1}{10} \boxtimes \frac{1}{20}$$

Расчет клеефанерных балок с волнистой стенкой отличается от расчета балок с плоской стенкой прежде всего тем, что фанерная стенка не может воспринимать нормальных напряжений, так как при изгибе балки она обладает податливостью, способна складываться и распрямляться. Поэтому балку с волнистой стенкой следует рассматривать как составную на податливых связях, где роль податливых связей играет волнистая стенка.

$$B = \frac{\pi^2 \cdot S_n \cdot E_{др}}{k_0 \cdot l^2 \cdot \delta_\phi \cdot G_\phi}$$

Где S_n – статический момент пояса относительно оси балки; $E_{др}$ – модуль упругости древесины пояса; G_ϕ – модуль сдвига фанеры; l – пролет балки; δ_ϕ – толщина фанерной стенки.

Длина дуги волны по кривой S_ϕ , длина волны l_ϕ , высота волны в осях h , центральный угол, образующий четвертую часть волны α

$$k_0 = \frac{S_\phi}{l_\phi}$$

Для синусоидального гофра

$$k_0 = 1 + 2,5 \left(\frac{h}{l_\phi} \right)^2$$

Для гофра типа сопряженных равных дуг окружности

$$k_0 = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha_0}{45 \cdot l_\phi}$$

В целом

$$k_0 \approx 1$$

Коэффициент, уменьшающий несущую способность балки:

$$k_w = \frac{1}{1 + \frac{h_n}{H} \cdot B}$$

Коэффициент, уменьшающий жесткость балки:

$$k_I = \frac{1}{1 + B}$$

Проверка прочности растянутого нижнего пояса

$$\sigma_u = \frac{M}{k_w \cdot W_0} \leq R_p$$

Проверка устойчивости сжатого верхнего пояса

$$\sigma_u = \frac{M}{k_w \cdot W_0 \cdot \varphi} \leq R_c$$

$$\tau = \frac{QS_n}{I b_{рас}} \leq R_{\phi.ск}$$

здесь

$$b_{рас} = 2 \cdot a$$

a – глубина паза

Проверка устойчивости волнистой стенки

$$\tau = \frac{QS_n}{I \cdot \delta_{\phi} \cdot \varphi_{\phi}} \leq R_{\phi.ср}$$

Коэффициент устойчивости волнистой стенки

$$\varphi_{\phi} = \frac{\tau_{кр}}{\tau_{\sigma}} = \frac{k_1 \cdot k_2}{\lambda_{в.ст}^2}$$

Где $\tau_{кр}$ – критическое сдвигающее напряжение; $\tau_{\sigma} = 7,5$ МПа –
безопасное сдвигающее напряжение; коэффициент

$$k_1 = 0,054 \cdot E \cdot \sqrt{E_{\phi}^1 \cdot G_{\phi}}$$

E_{ϕ}^1 - модуль упругости фанерной стенки поперек оси балки; G_{ϕ} - модуль сдвига фанерной стенки; k_2 - коэффициент, принимаемый в зависимости от соотношения h_v / l_v ; $\lambda_{в.ст}$ - гибкость волнистой стенки, определяемая по формуле

$$\lambda_{в.ст} = (h - 2 \cdot h_n) \cdot \sqrt{\delta_{\phi} \cdot h_v}$$

При проверке прогибов следует учесть уменьшение жесткости вследствие податливости.

	Значение k_1
Для фанеры:	
Пятислойной марок АВ, В...	1630
То же ВВ...	1467
семислойной марок АВ, В...	1525
То же ВВ...	1372

	Значение k_2
$h_v / l_v = 1/12 \dots$	0,45
$h_v / l_v = 1/15$	0,41
$h_v / l_v = 1/18$	0,39