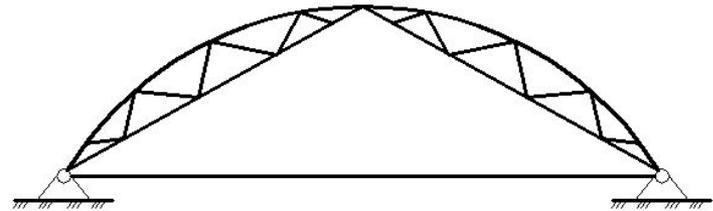
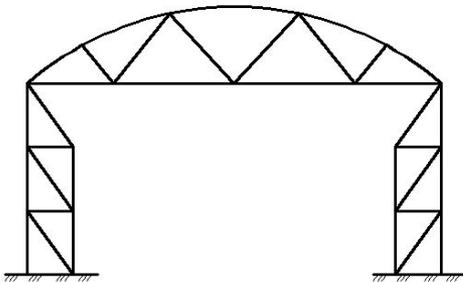


Лекция 11

7. Сквозные плоскостные конструкции

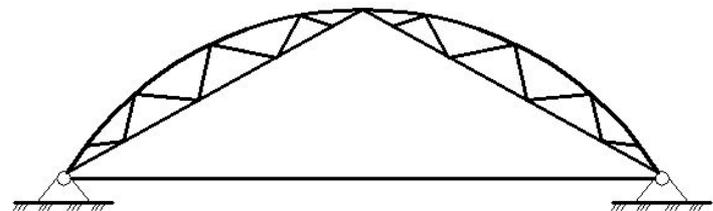
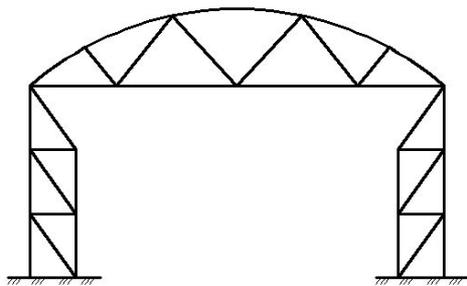
-
- ❑ Сквозными называются конструкции у которых пояса соединены друг с другом не сплошной стенкой, а решеткой.
 - ❑ Решетка состоит из отдельных стержней – раскосов и стоек.
 - ❑ Применение решетки уменьшает расход материала.
 - ❑ Большое количество узлов в местах соединения решетки с поясами значительно усложняет изготовление.



□ Сквозные конструкции подразделяются:

- 1) балочные (фермы);
- 2) распорные (арки и рамы);
- 3) решетчатые стойки.

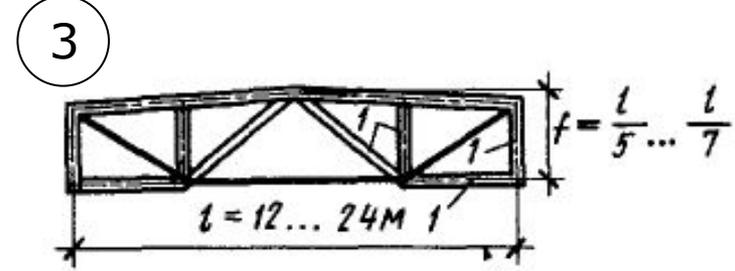
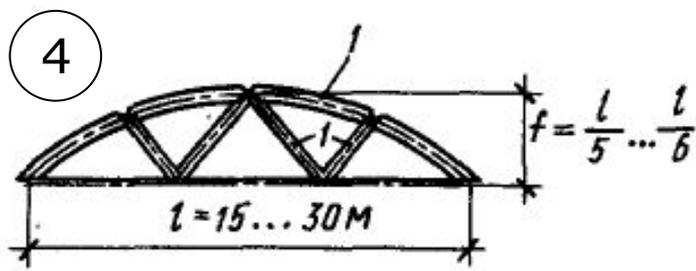
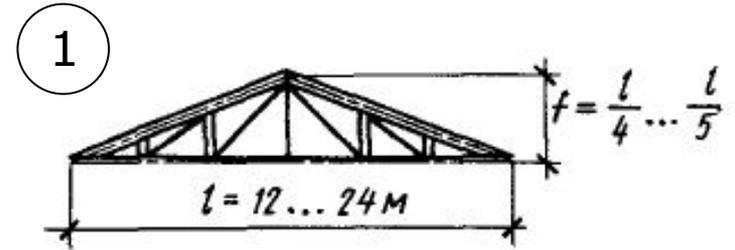
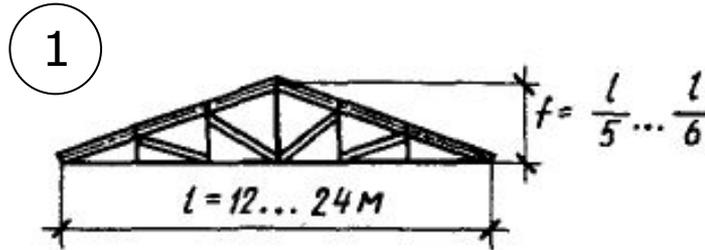
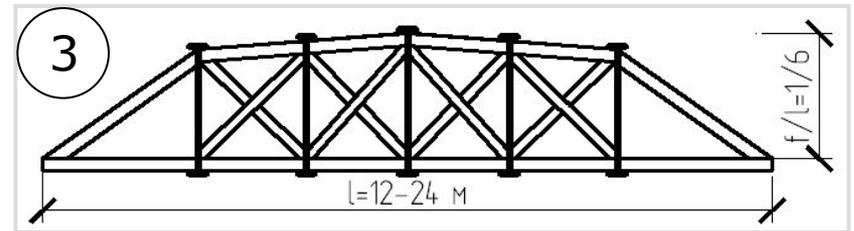
□ Основной вид сквозных конструкций - фермы.



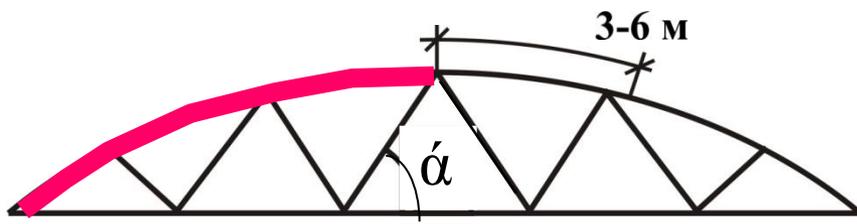
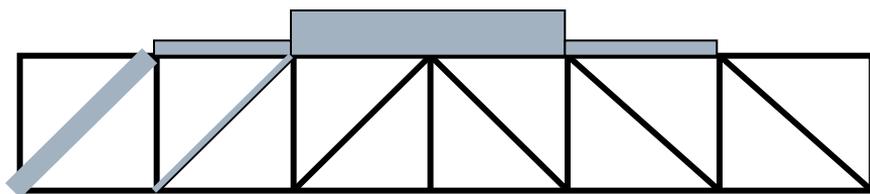
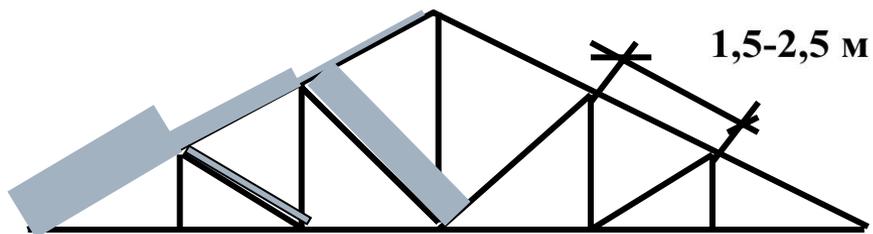
7.1 Фермы

- ❑ Классификация ферм.
- ❑ 1) **По очертанию поясов** фермы подразделяются на:

- 1) треугольные;
- 2) прямоугольные;
- 3) трапециевидные;
- 4) многоугольные;
- 5) сегментные.



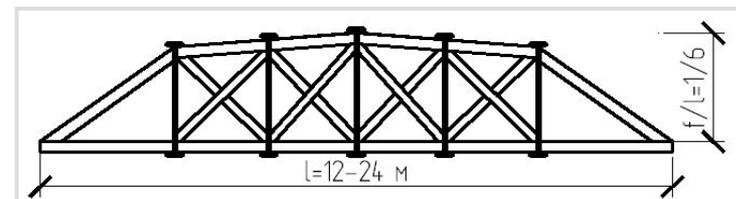
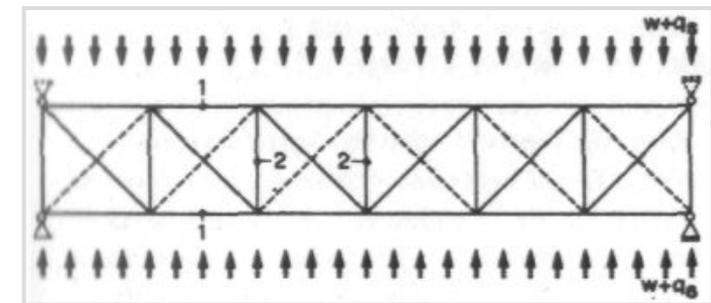
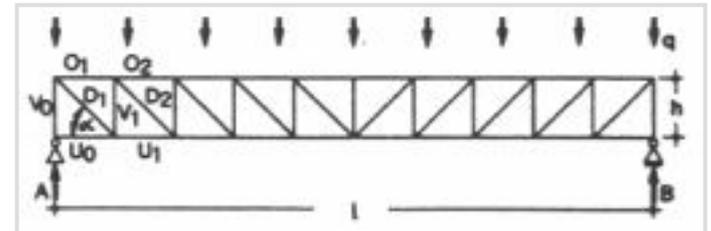
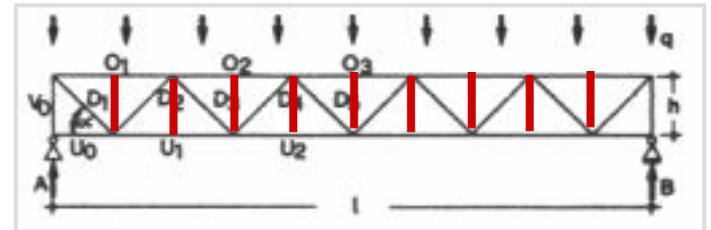
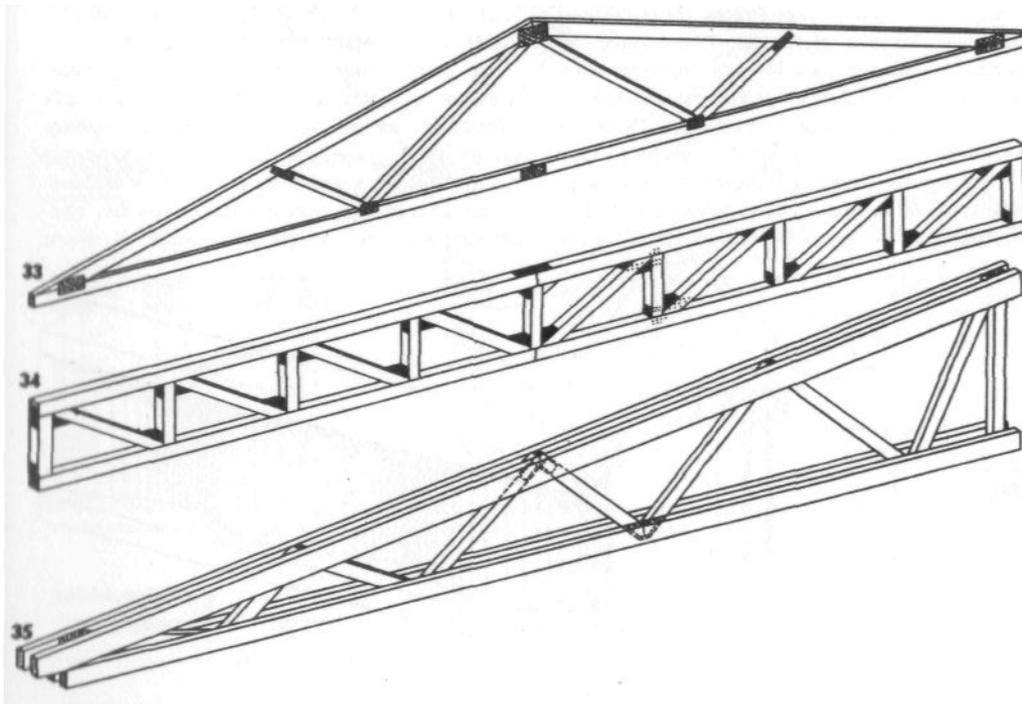
Очертание пояса оказывает существенное влияние на характер распределения усилий в элементах ферм



α от 30° до 60°

□ 2) **Решетка** ферм может быть:

- раскосная,
- треугольная,
- крестовая.

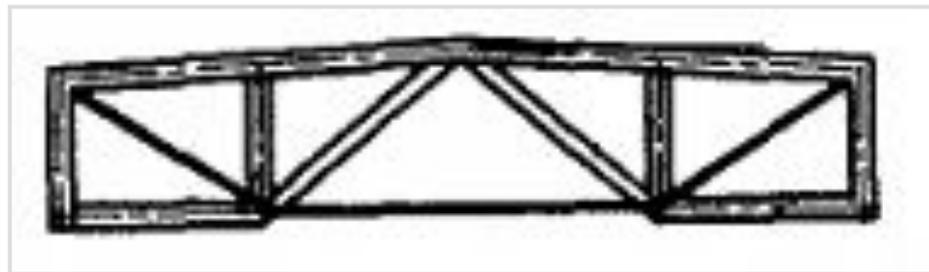


□ 3) **Направление раскосов** имеет большое значение:

Сжатые раскосы, растянутые стойки Растянутые раскосы, сжатые стойки

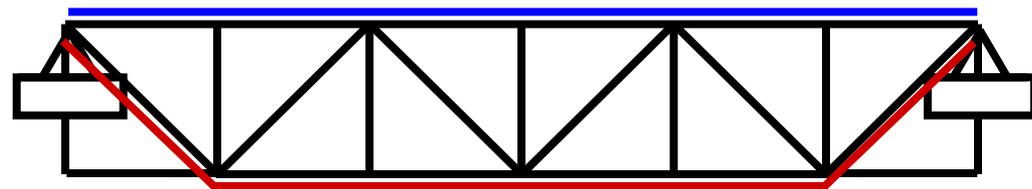
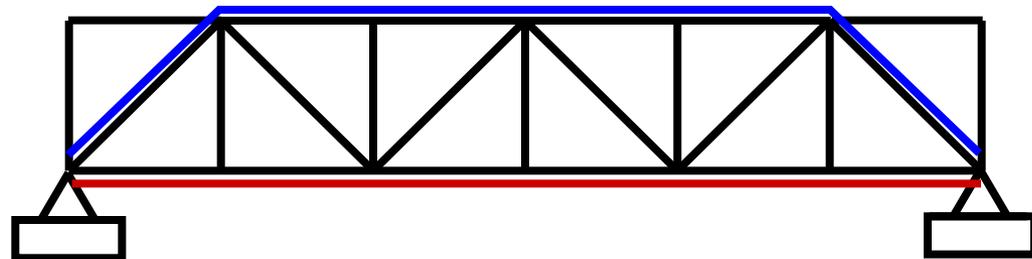


Растянутый опорный раскос



□ Опорные раскосы могут быть:

- сжатыми (восходящий)
- растянутыми (нисходящий):

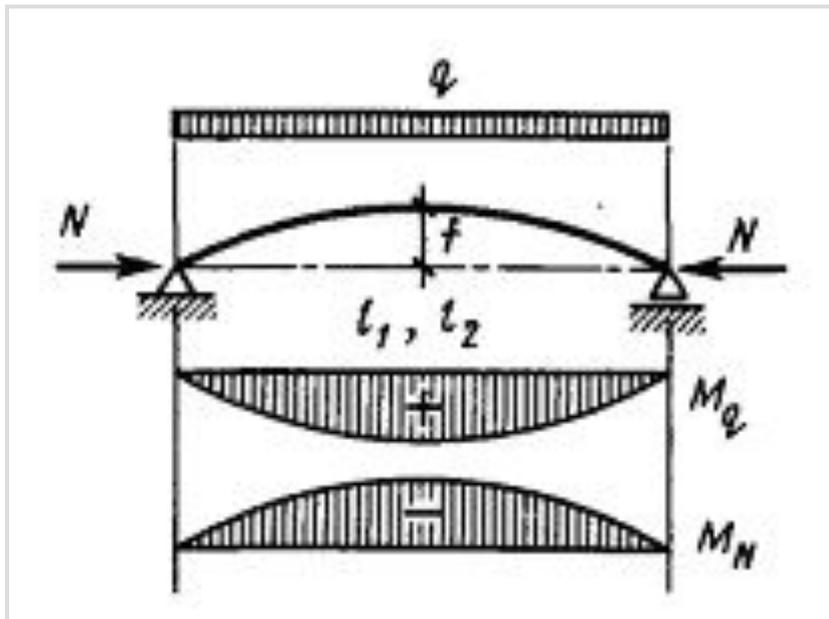


-
- ❑ Наиболее ответственные элементы в ДК – растянутые.
 - ❑ Особое внимание должно уделяться растянутым поясам.
 - ❑ Часто (но не всегда) растянутые элементы ДК выполняют из металла.



-
- Усилия в элементах ферм определяют методами строительной механики:
 - вырезание узлов,
 - моментная точка,
 - силовой многоугольник – построение диаграммы Максвелла-Кремоны.

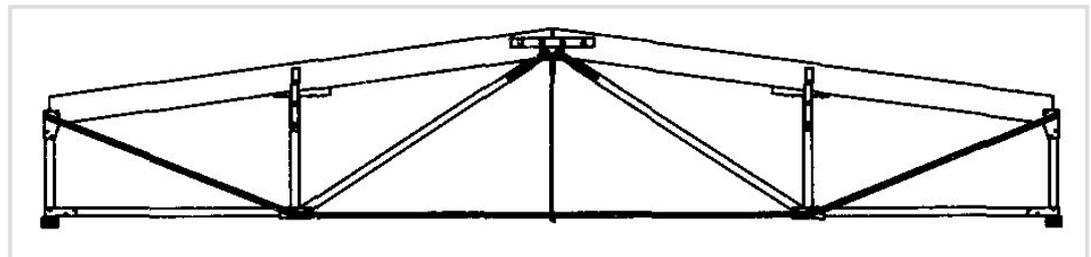
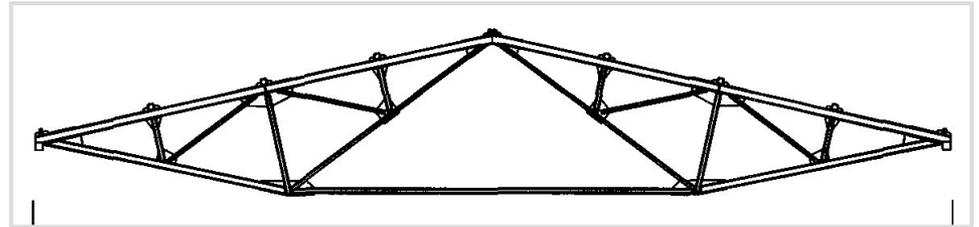
- При «ручном» статическом расчете узлы ферм принимают шарнирными.
- Изгибающие моменты в стержнях, возникающие при неузловом приложении нагрузки или в неразрезных поясах ферм добавляют к полученному «ручным» счетом напряженно-деформированному состоянию.



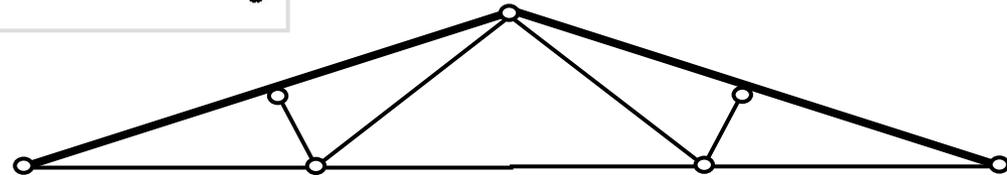
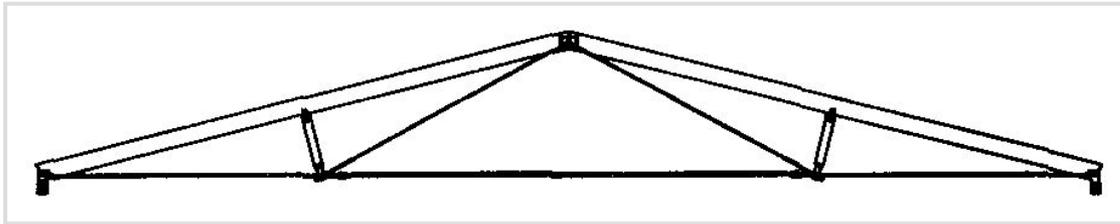
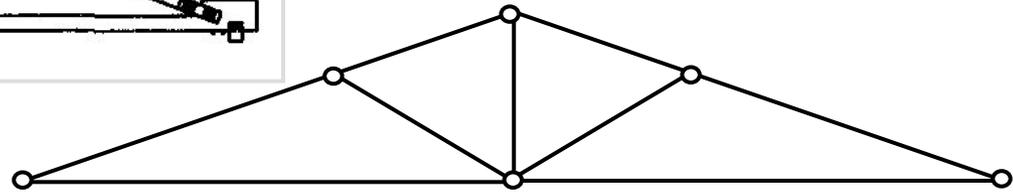
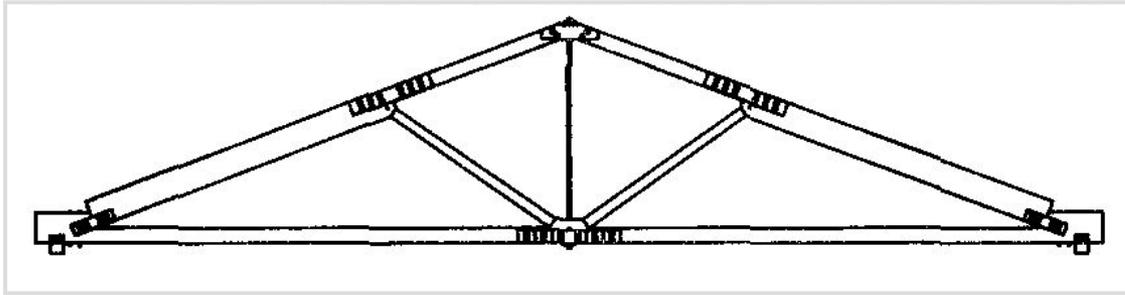
Панель верхнего пояса
сегментной фермы

-
- ❑ Современные программные комплексы позволяют определять НДС ферм более точно.
 - ❑ При статических расчетах деревянных ферм с помощью ЭВМ требуется задавать узловые сопряжения близко к конструктивному решению.

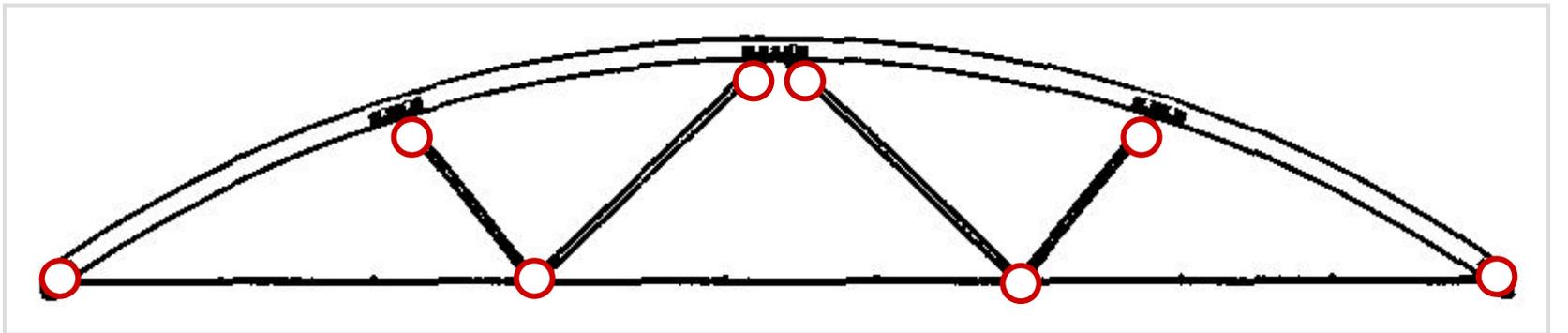
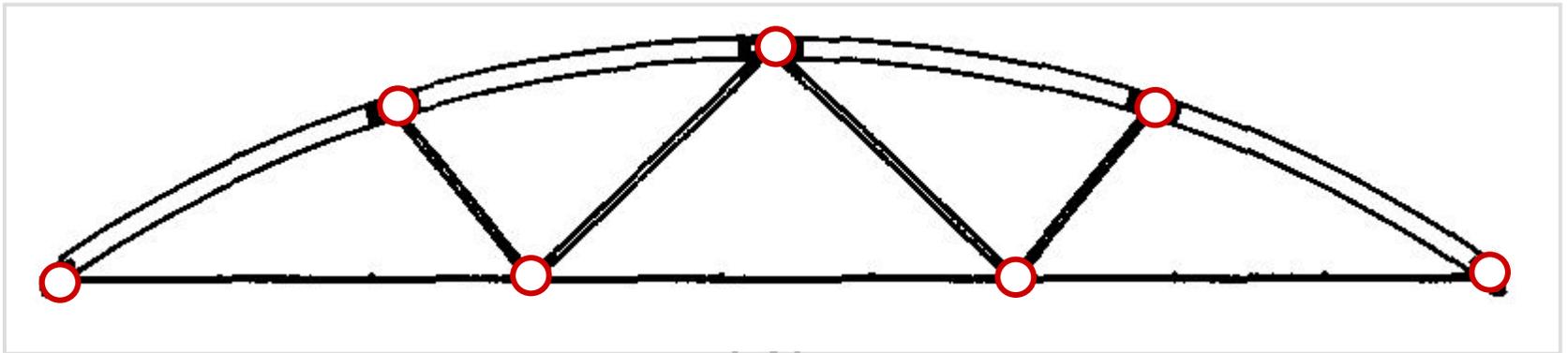
В отличие от металлических и железобетонных ферм – где все узлы жесткие.



□ Две расчетные схемы треугольной фермы:



-
- Две расчетные схемы сегментной фермы:

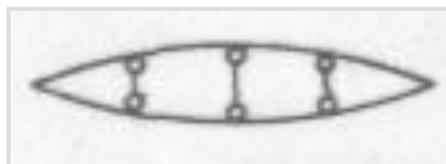
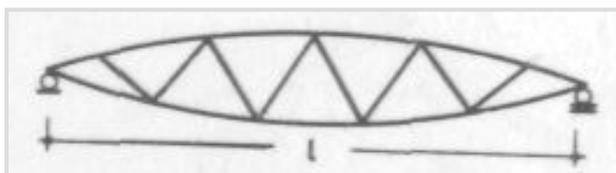


□ Различают фермы:

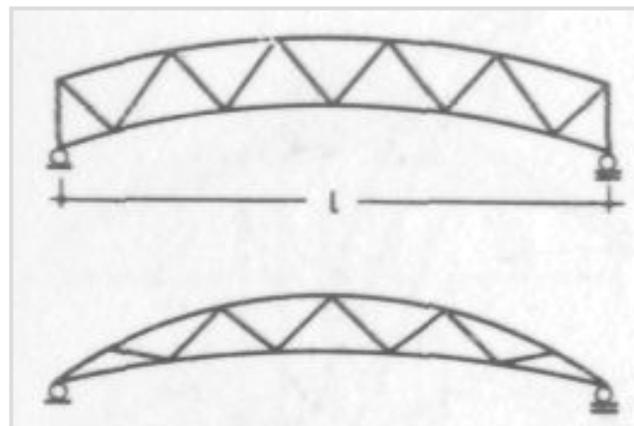
- индустриальные – заводского изготовления;
- фермы построечного изготовления.

7.1.1 Деревянные фермы заводского изготовления

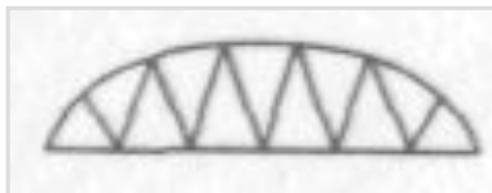
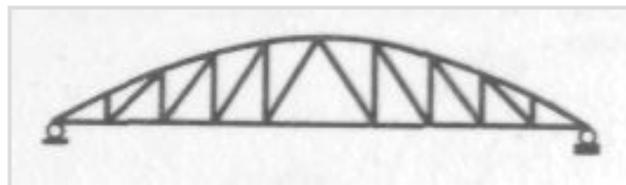
- Это прежде всего фермы с криволинейными дощатоклееными поясами (или только верхним поясом):



Линзообразные



Серповидные

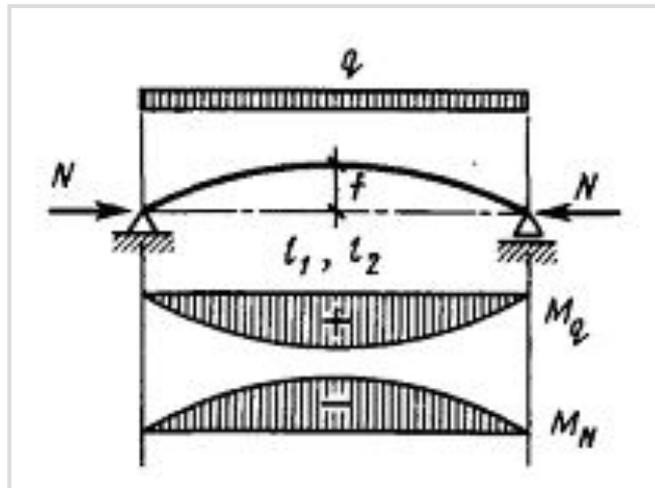


Сегментные

-
- ❑ Предназначены для покрытий с рулонной кровлей.
 - ❑ Пояса из клеедеревянных элементов прямоугольного сечения, изогнутых по дуге окружности.
 - ❑ Если пояс по длине состоит из нескольких стержней:
 - стержни одинаковой длины;
 - соединяются центрировано по осям.

-
- Благодаря изогнутой форме в сечениях поясов усилие N – примерно одинаково по всей длине и изгибающие моменты небольшие знакопеременные :
 - (+) от неузловой нагрузки,
 - (-) от действия продольных сил.

Поэтому сечения стержней имеют небольшие размеры.

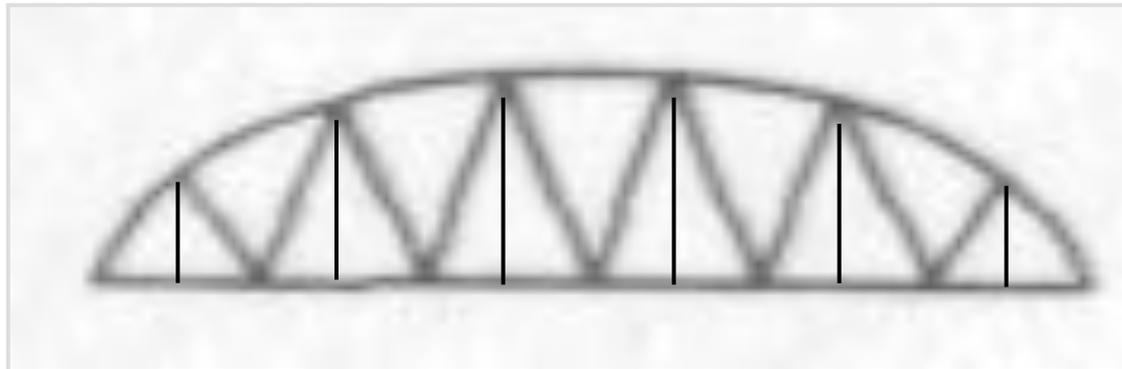


Панель верхнего пояса
сегментной фермы

1) Сегментная ферма

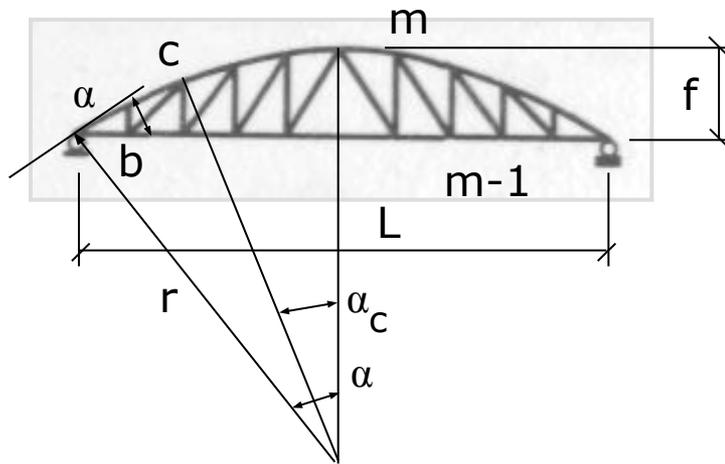
- ❑ В сечениях поясов усилие N – примерно одинаково по всей длине, изгибающие моменты небольшие знакопеременные. Сечение верхнего пояса, как правило, прямоугольное дощатоклееное.
- ❑ Растянутый нижний пояс выполняют из металла – двойных стальных уголков или круглой стали.
- ❑ В раскосах решетки действуют незначительные знакопеременные продольные силы. Раскосы выполняют клеедеревянными прямоугольного сечения, шириной, равной ширине сечения верхнего пояса.

-
- ❑ При наличии подвесного потолка ферма имеет стойки, которые работают на растяжение и выполняются из стальной арматуры.
 - ❑ При отсутствии подвесных нагрузок ферма имеет тонкие арматурные подвески для предотвращения провисания нижнего пояса.



-
- Расчет сегментной фермы состоит из:
 - геометрического расчета;
 - статического расчета;
 - подбора сечений элементов;
 - проектирования узловых сопряжений.

- Геометрический расчет выполняют как для круговых арок.



$$X_c = \frac{L}{2} - r \cdot \sin \alpha_c,$$

$$Y_c = f - r \cdot (1 - \cos \alpha_c),$$

$$L_{b-c} = \sqrt{(X_b - X_c)^2 + (Y_b - Y_c)^2}.$$

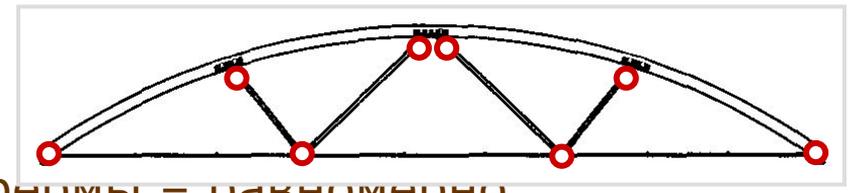
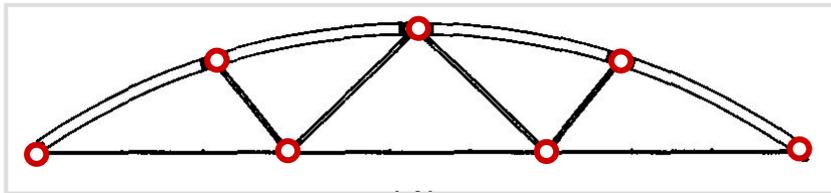
$$r = \frac{L^2 + 4 \cdot f^2}{8 \cdot f},$$

$$\sin \alpha = \frac{L}{2 \cdot r},$$

$$S = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{90^\circ},$$

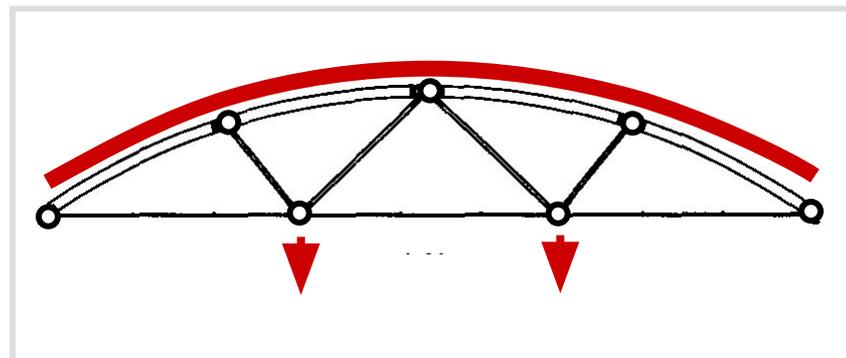
$$S_c = \frac{S}{m},$$

-
- ❑ Усилия в элементах фермы находят из статического расчета.
 - ❑ Расчетную схему строят в соответствии с реальной конструкцией узлов – шарнирные или жесткие.



- ❑ нагрузка по верхнему поясу фермы – равномерно распределенная.

- ❑ Нагрузка по нижнему поясу прикладывается в узлы пояса.



□ Конструирование фермы начинают с подбора сечения раскосов:

- по устойчивости как центрально сжатый элемент на максимальное сжимающее усилие в раскосах фермы;
- выбранное в соответствии с сортаментом сечение проверяют по предельной гибкости.

Все раскосы принимают одинакового сечения.

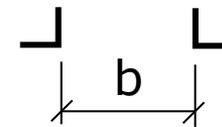
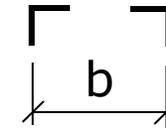
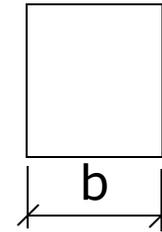
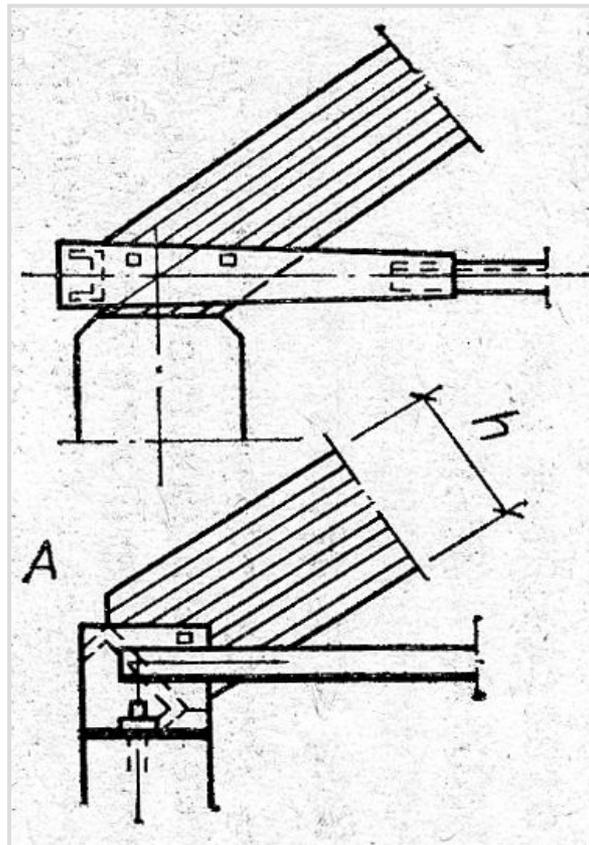
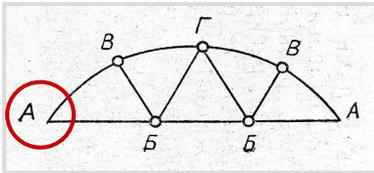
□ Принимают ширину сечения верхнего пояса равной ширине сечения раскоса.

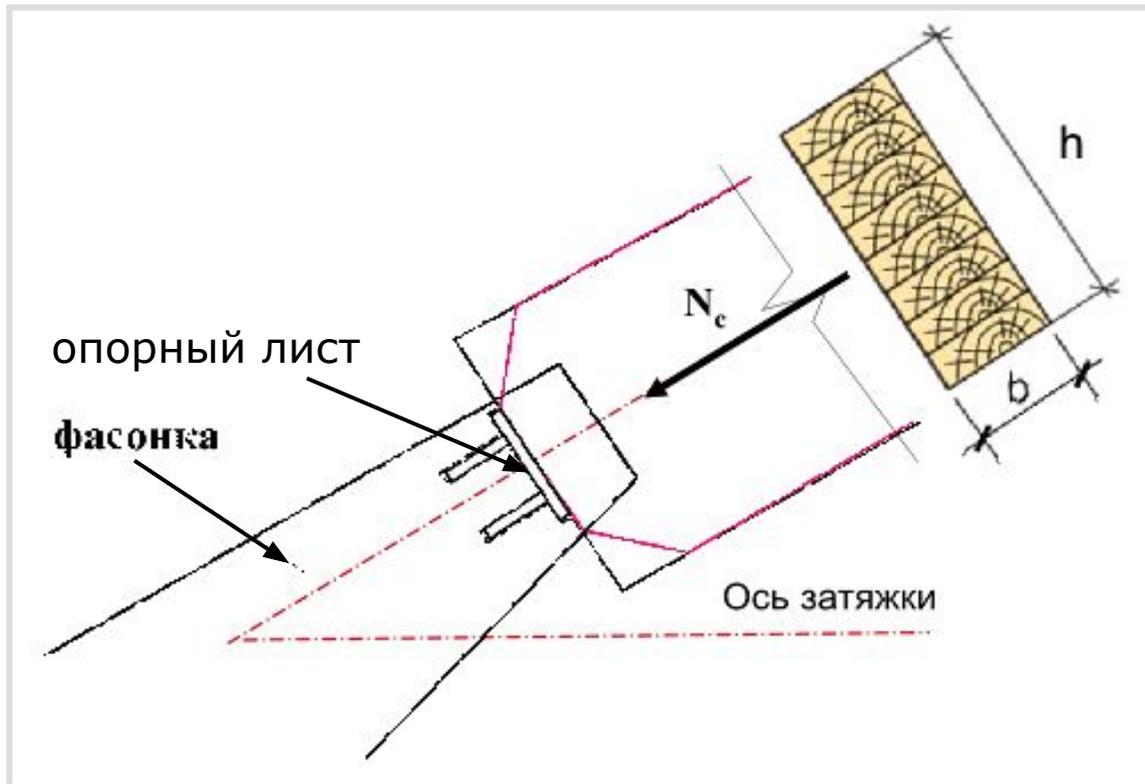
Определяют высоту сечения верхнего пояса по правилам расчета сжато-изгибаемого элемента.

□ Сечение нижнего пояса назначают по прочности на максимальное растягивающее усилие в нижнем поясе.

Конструирование узлов сегментной фермы

- Конструирование и расчет опорного узла (нижний пояс из двойных стальных уголков).



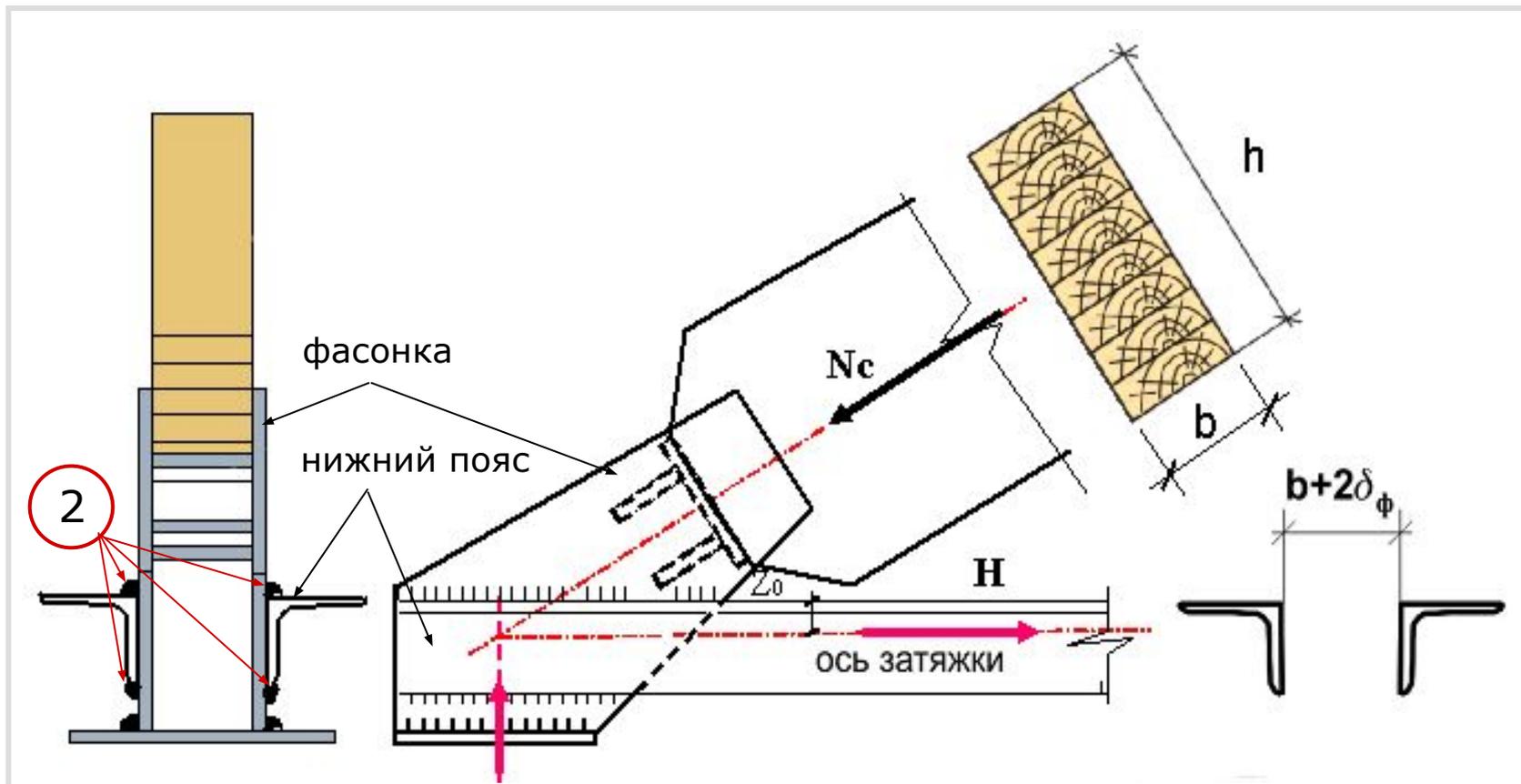


Опорный лист В.П. вваривается между боковыми фасонками.

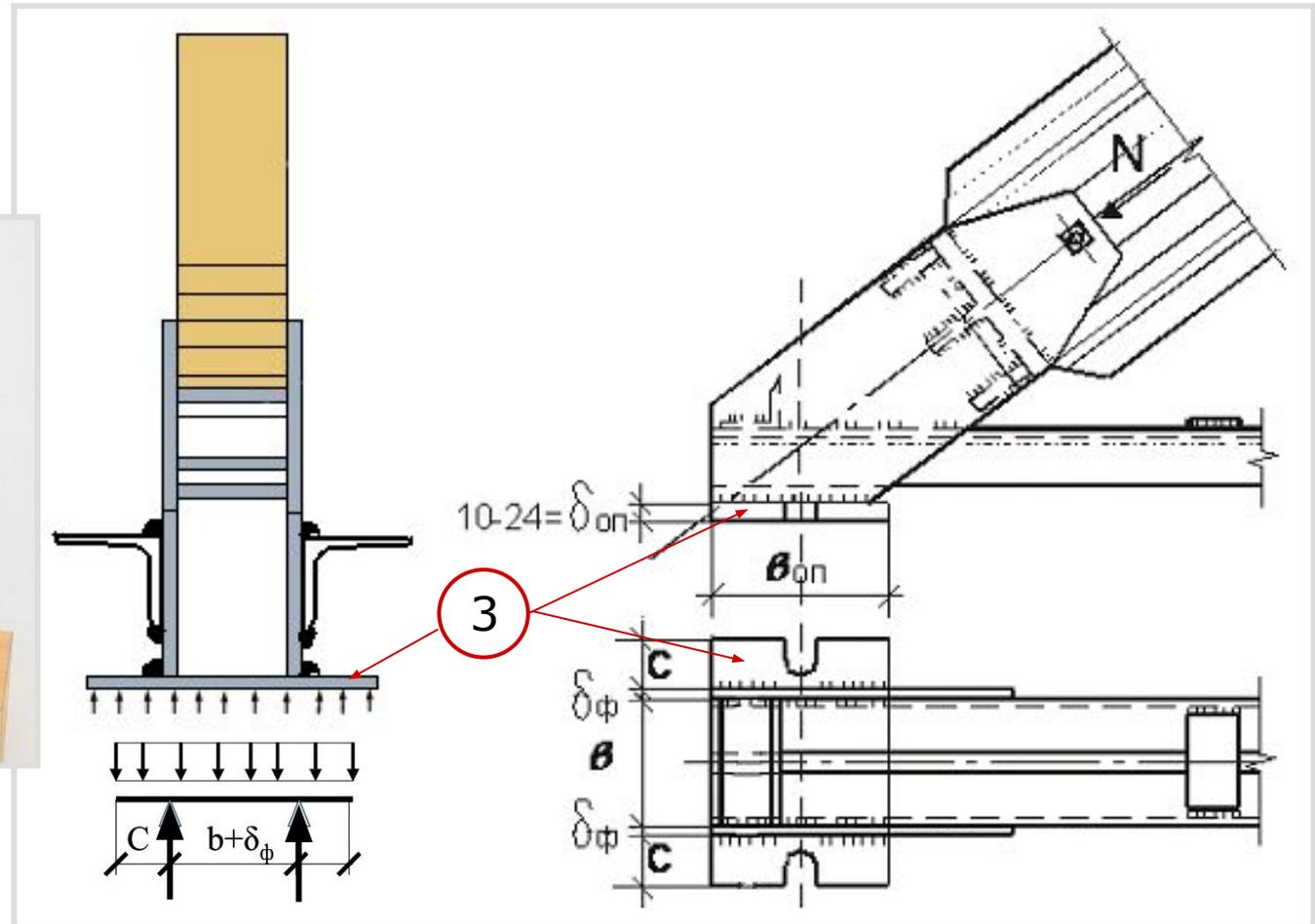
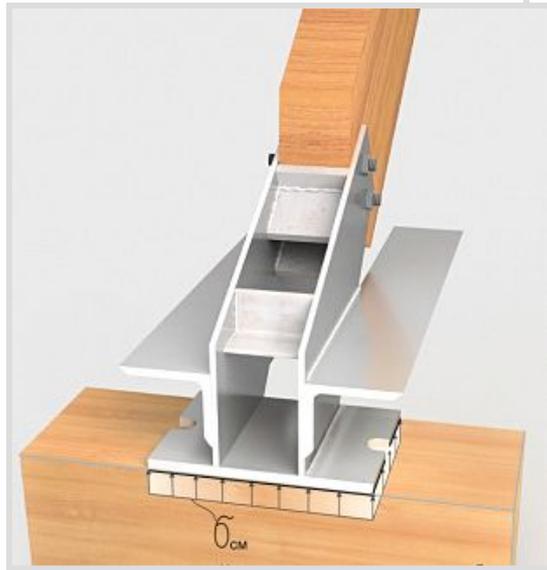
Толщина фасонки рассчитывается на сжимающее усилие N .

Для обеспечения шарнирности узла выполняется подрезка торцов пояса под углом 35-45°.

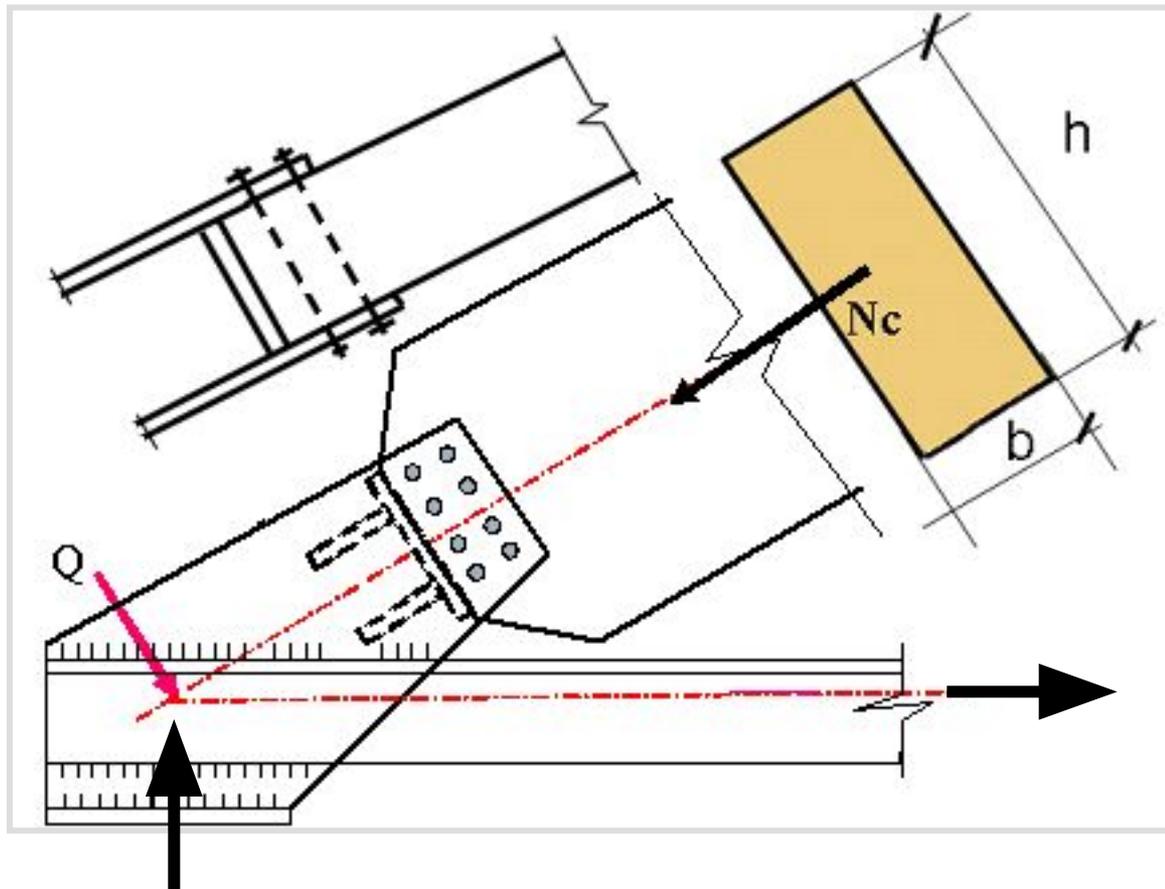
2. Рассчитывают сварные швы крепления Н.П. к фасонке.



3. Назначают размеры опорной плиты узла из условия смятия при опирании на стойку и проверяют её прочность на изгиб.

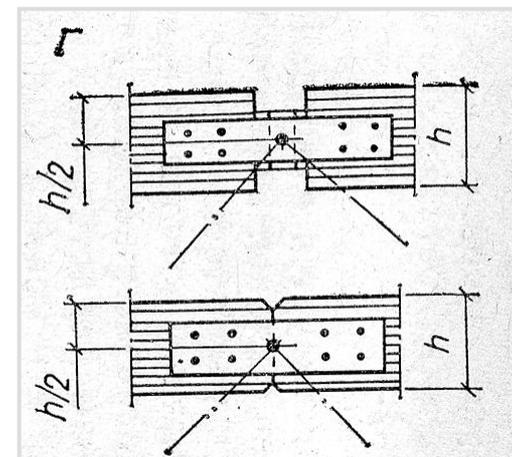
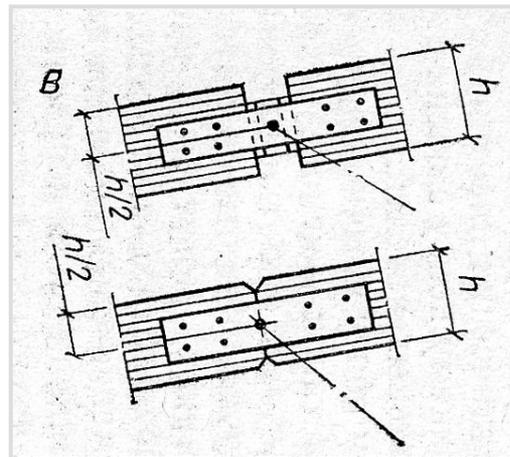
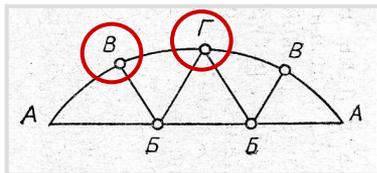


4. Рассчитывают нагельное соединение, препятствующее выходу из проектного положения от действия поперечной силы Q .

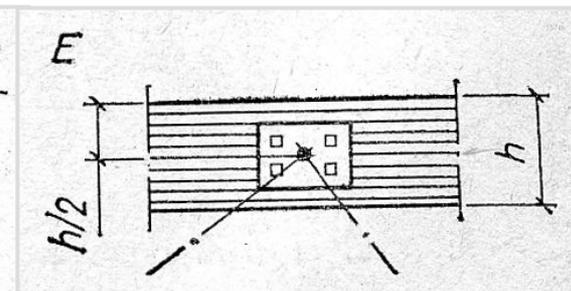
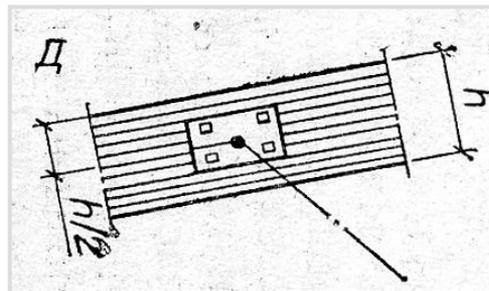
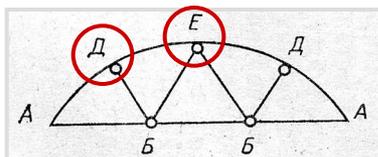


□ Узлы крепления раскосов к верхнему поясу решаются в зависимости от:

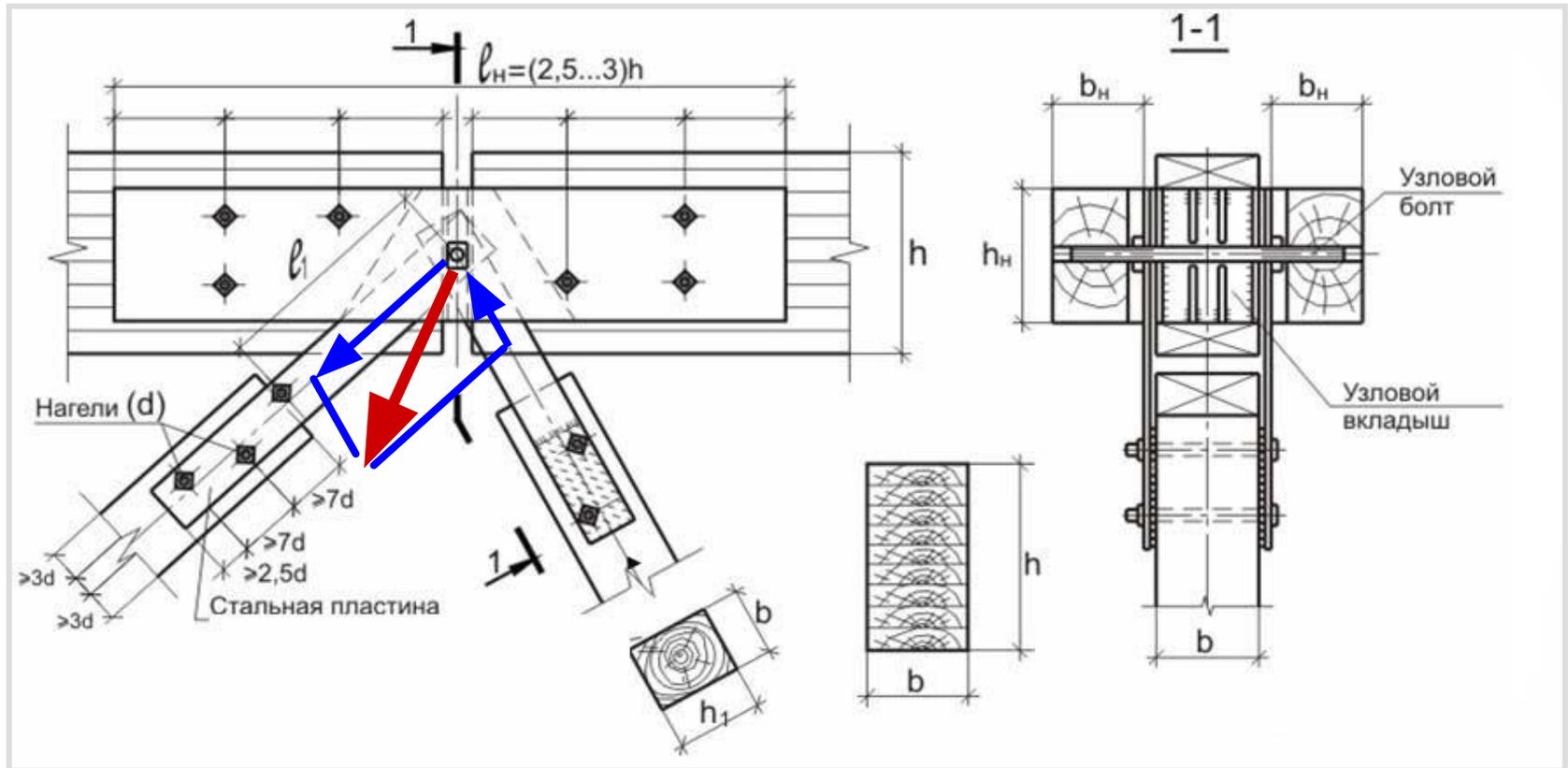
■ разрезной пояс



■ неразрезной пояс

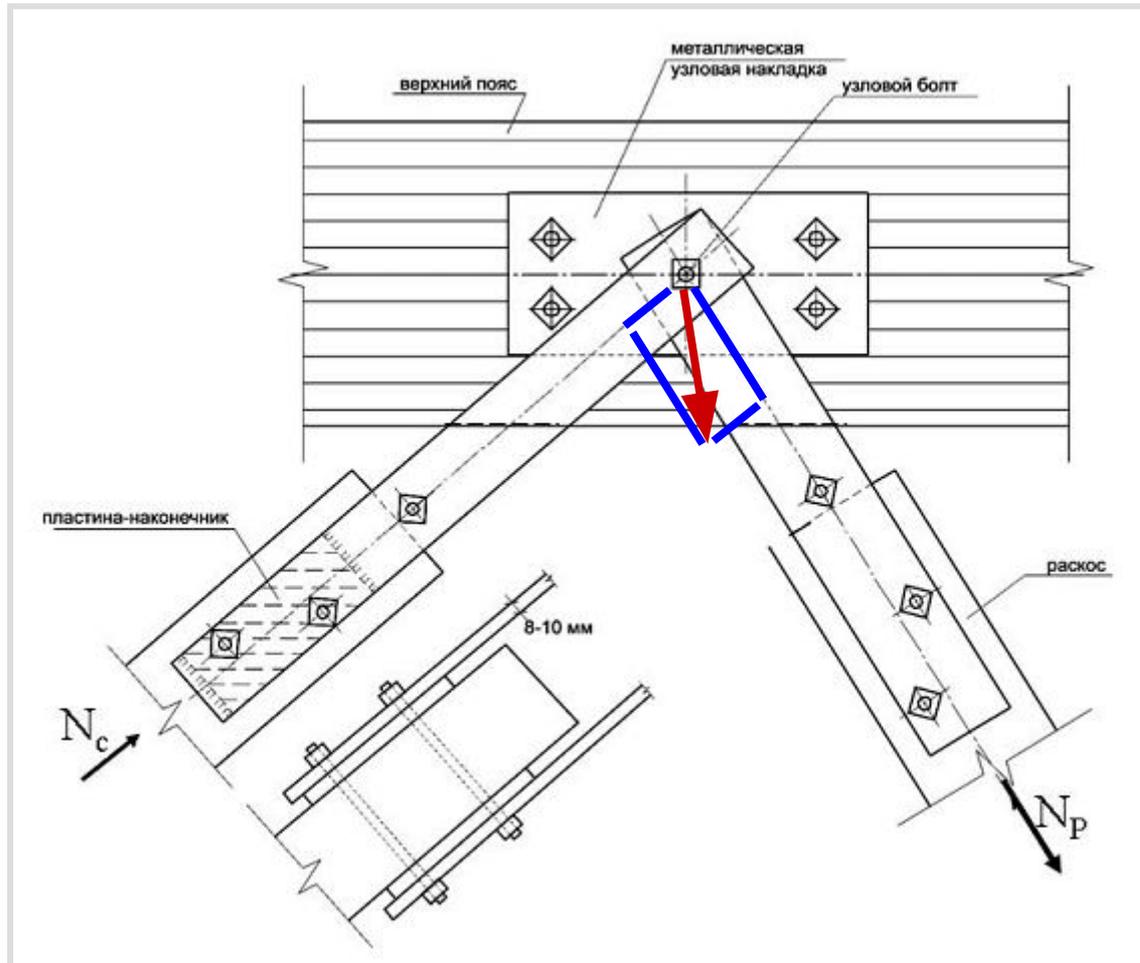


Узел верхнего пояса сегментной фермы с металлическим вкладышем

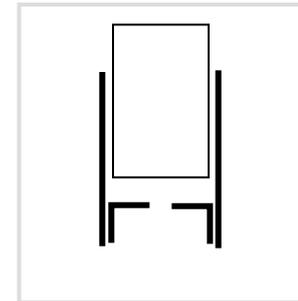
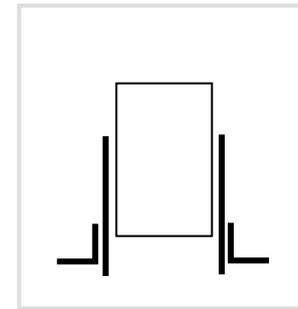
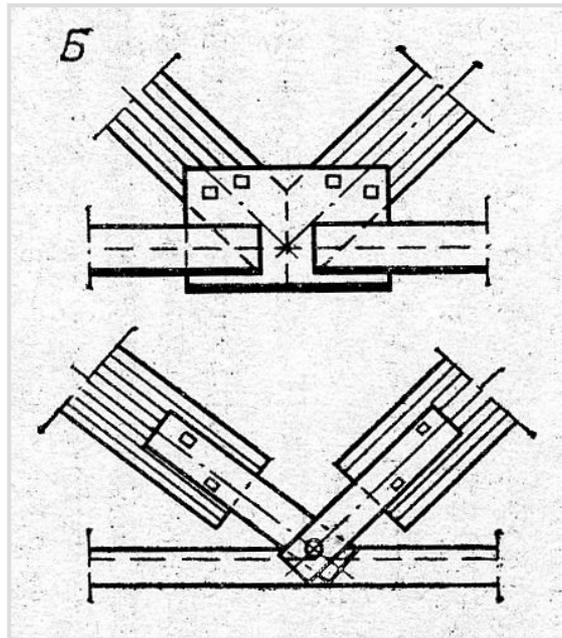
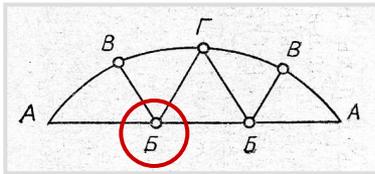


Узловой болт рассчитывают на изгиб от равнодействующей усилий в раскосах. Накладки проверяют на смятие под болтами.

□ Узел неразрезного верхнего пояса сегментной фермы

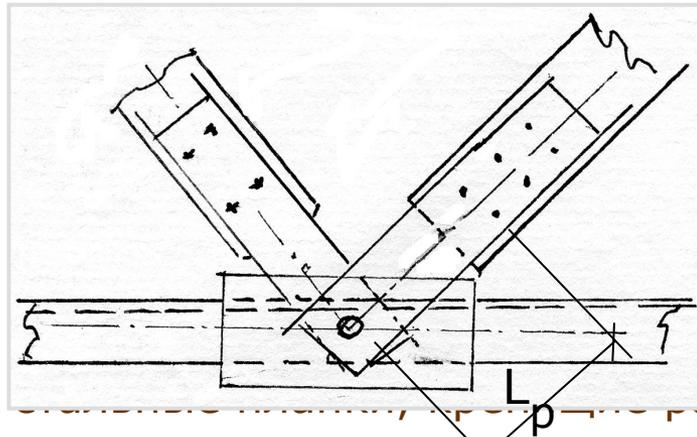


□ Варианты решения узла нижнего пояса сегментной фермы



Узловой болт рассчитывают на изгиб от равнодействующей усилий в раскосах (аналогично узлам верхнего пояса).

- ❑ Крепления элементов решетки к поясам рассчитывается на максимальное усилие в раскосах.
- ❑ Определяют диаметр и количество болтов нагельного соединения крепления раскоса к планке.

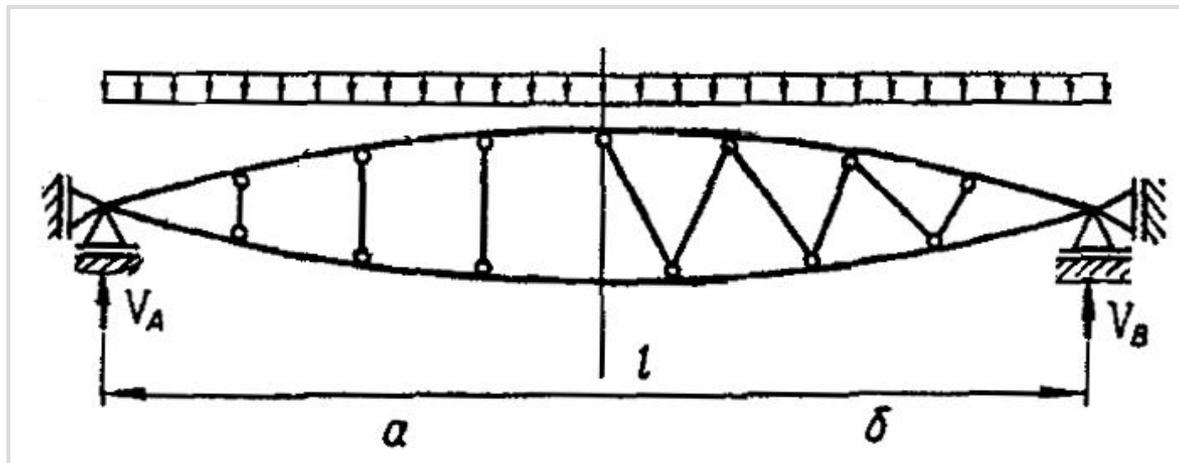


$$n \geq N / (T \cdot n_{\text{ш}}).$$

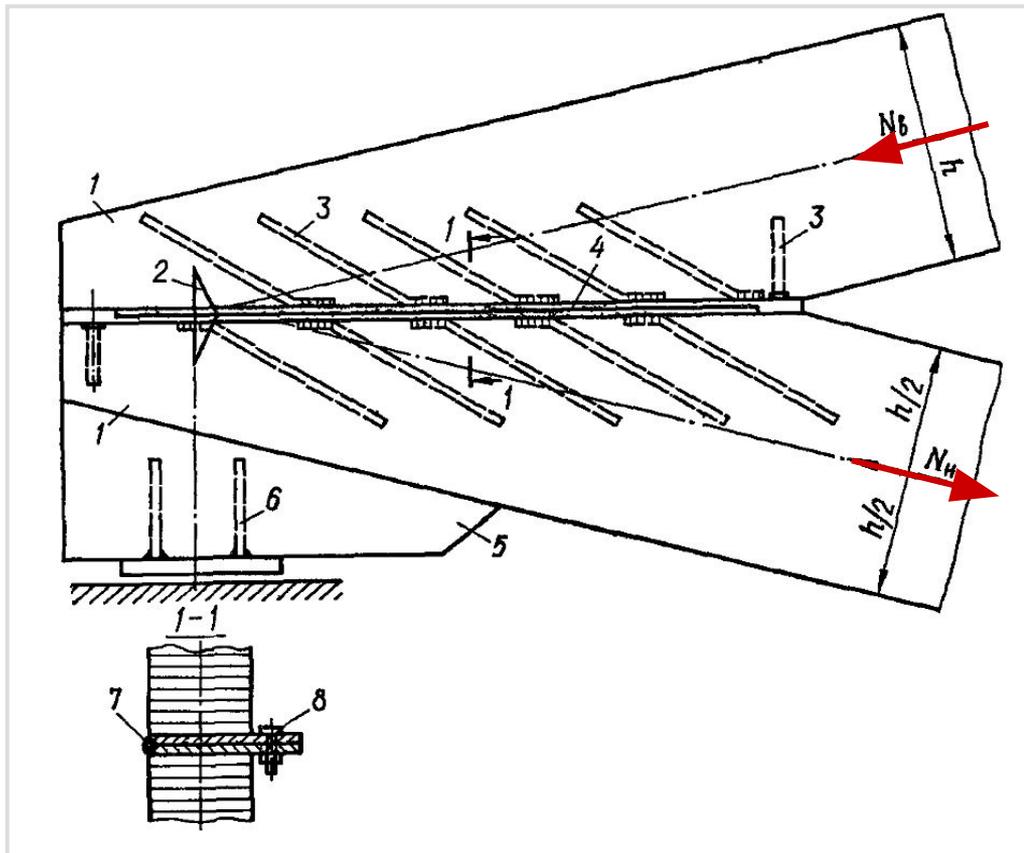
- ❑ Рассчитывают крепления раскосы к поясам:
 - на растяжение по ослабленному болтами сечению;
 - на устойчивость из плоскости планки (на участке L_p);
 - на смятие под нагелями.

2) Линзообразные фермы на клеенных стержнях

- ❑ Перекрывают пролеты 18...60 м.
- ❑ Усилия в поясах по длине пролета практически одинаковы.
- ❑ Усилия в элементах решетки незначительны.
- ❑ Симметричные узлы для обоих поясов.



- Опирают на стены или колонны через клееные деревянные подушки.

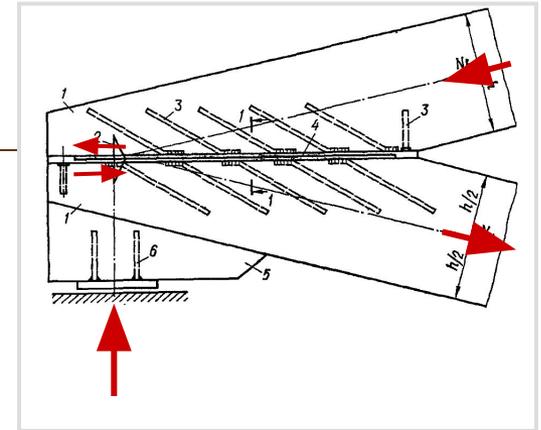


- 1 – пояса;
- 2 – стальные монтажные пластины;
- 3 – клеенные стержни;
- 4 – анкерные пластины;
- 5 – опорная клееная подушка;
- 6 – клеенные стержни с опорной пластиной;
- 7 – соединение анкерных пластин сваркой;
- 8 – то же, болтами.

- ❑ Опорный узел воспринимает усилия:
 - сжимающее – от В.П.;
 - растягивающее – от Н.П.;
 - сдвигающее – горизонтальная равнодействующая поясов;
 - опорное давление.

- ❑ Значения усилий получают из статического расчета.

- ❑ Вклеенные стержни работают в двух направлениях:
 - вдоль стержня – растяжение;
 - перпендикулярно оси – изгиб.



-
- Прочность наиболее нагруженного стержня проверяют по формуле:

$$\sigma = 0,91 \cdot N / d^2 \leq R$$

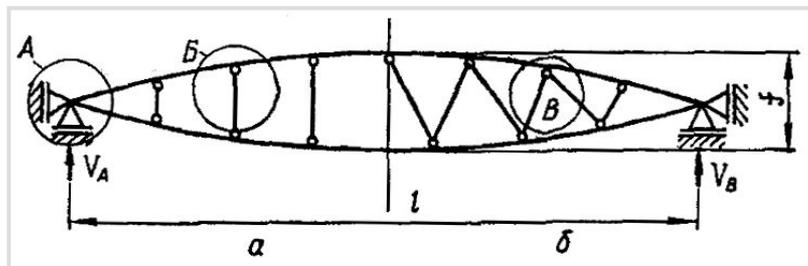
- N – усилие растяжения в поясе;
- d – диаметр стержня;
- R – расчетное сопротивление стали.

- Длина клеиваемой части:

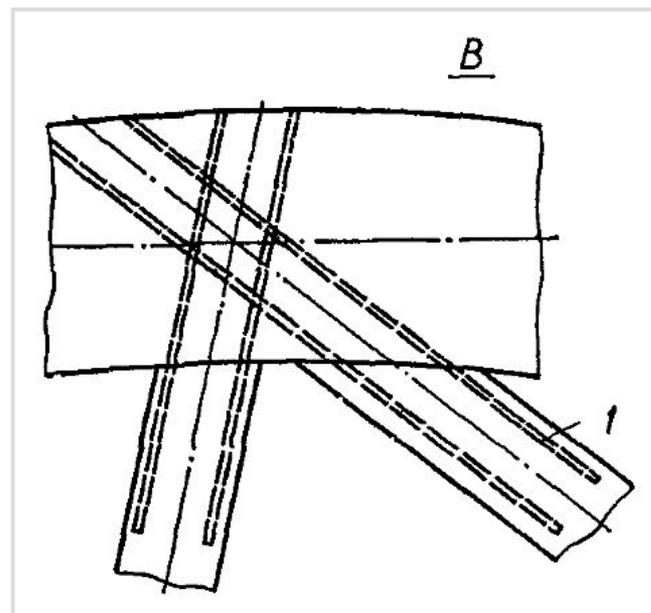
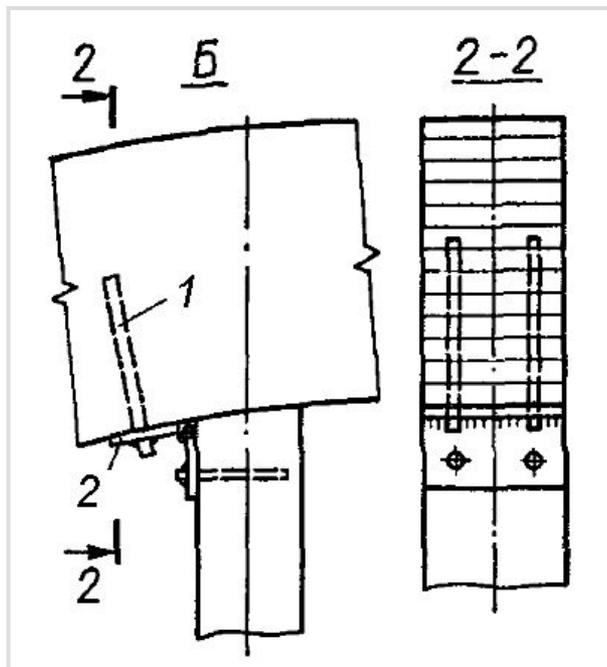
$$10 \cdot d \leq L_{\text{стержня}} \leq 30 \cdot d$$

- В целях унификации все клеенные стержни принимают одного диаметра.

- Стальные стержни клеивают на эпоксидном клее.



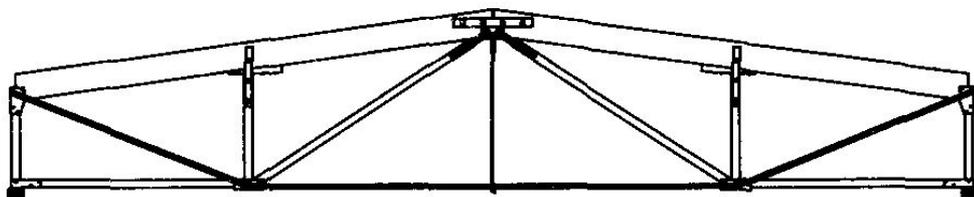
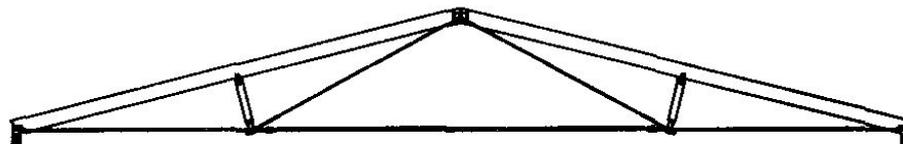
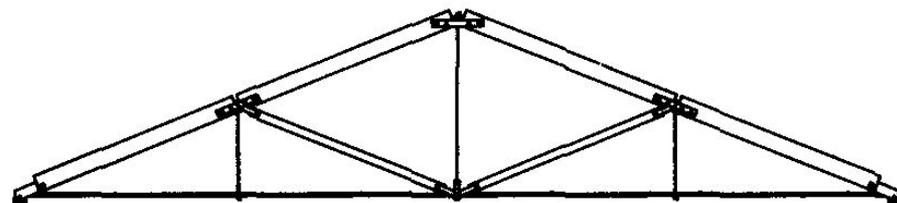
- 1 – клеенные стержни;
- 2 – стальные элементы, привариваемые к стержням.



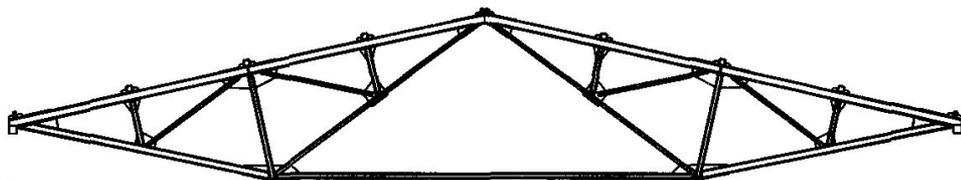
3) Четырехпанельные металлодеревянные фермы

□ Возможные варианты схем:

треугольные

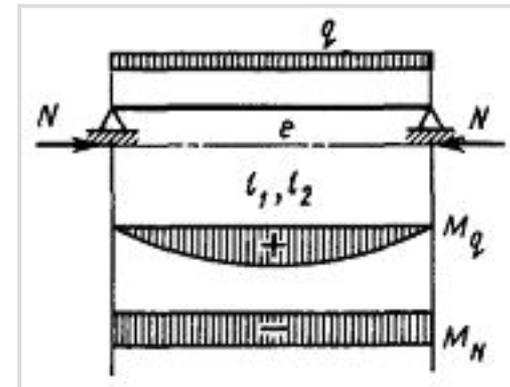
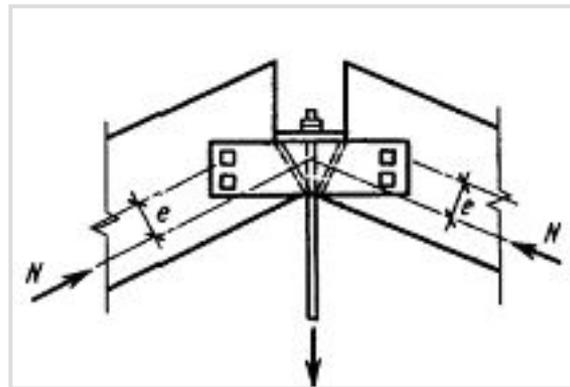
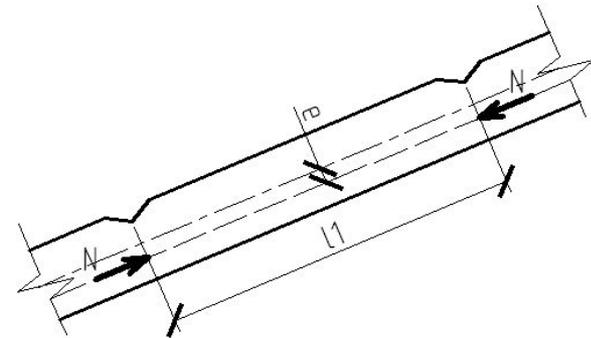
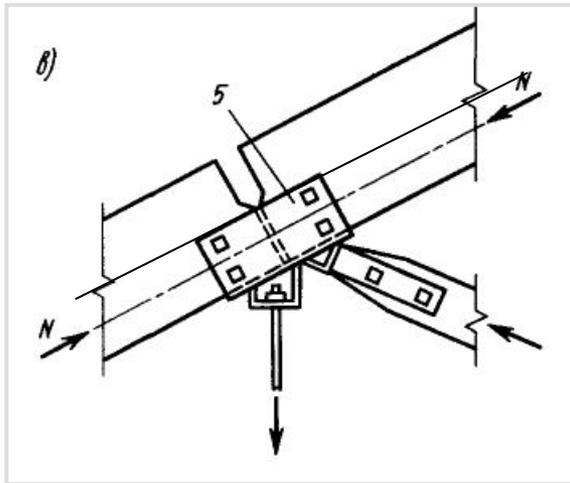


пятиугольные

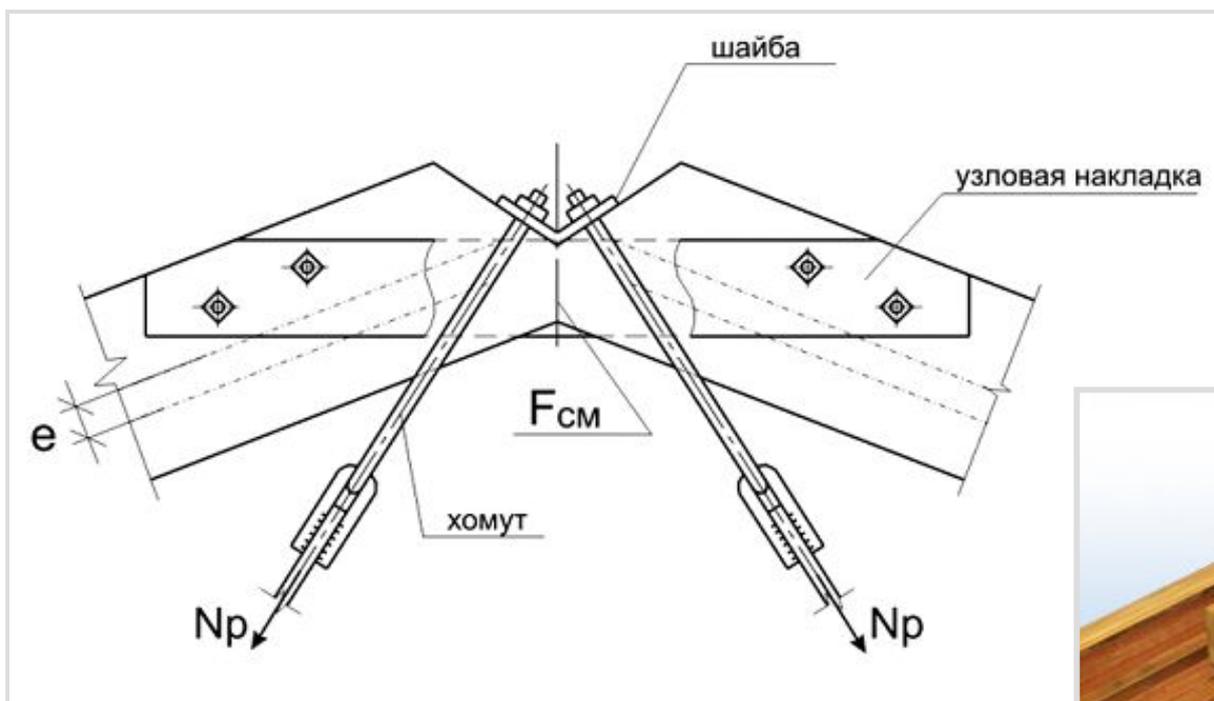


-
- ❑ Перекрывают пролеты 12...24 м.
 - ❑ Нагрузка неузловая – равномерно распределенная, прикладывается к верхнему поясу.
 - ❑ Верхний пояс работает на сжатие с изгибом.
 - ❑ Сечение в.п. может быть брусчатым, составным клееным из пакета досок или из брусьев на пластинчатых нагелях.
 - ❑ Растянутые элементы выполняют из металла.

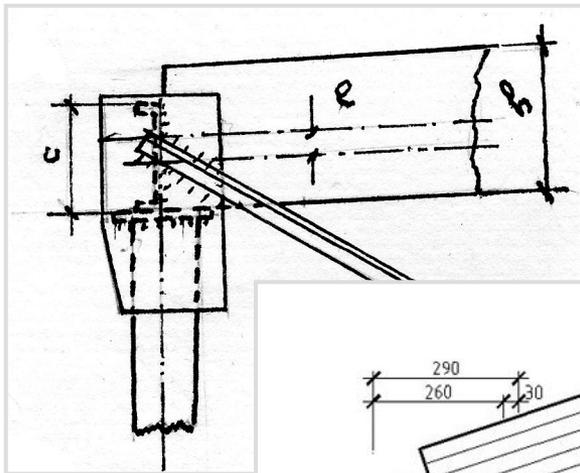
- Для уменьшения изгибающего момента узлы верхнего пояса выполняют с эксцентриситетом (как в треугольных арках):



Коньковый узел при опирании двух растянутых раскосов.

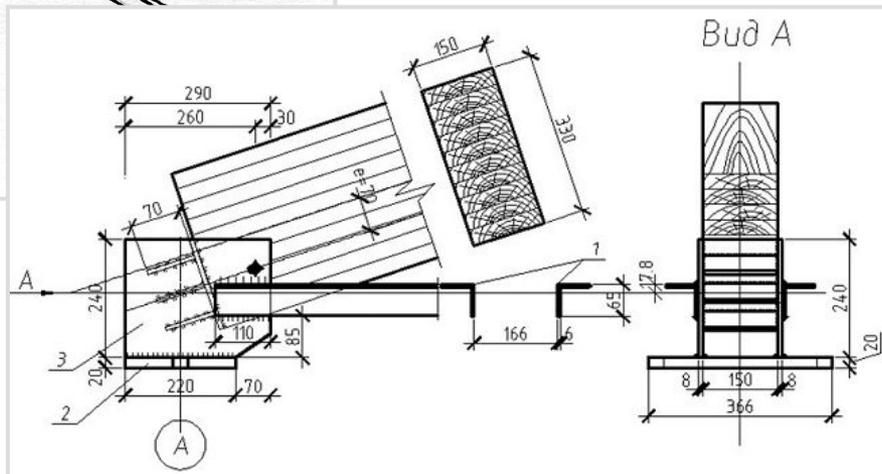


- ❑ Из-за расцентровки узлов верхнего пояса возникают скалывающие усилия в узлах.
- ❑ Верхний пояс проверяют на скалывание с учетом коэффициента скалывания, зависящего от отношения высоты площадки опирания к высоте сечения пояса



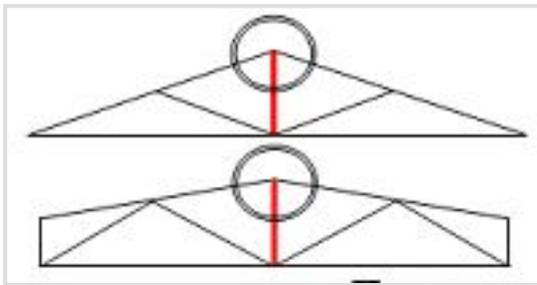
$$\frac{Q \cdot S_{отс}}{I \cdot b} \cdot K_{ск} \leq R_{ск}$$

c/h	0,5	0,7	0,9
K _{ск}	1,8	1,4	1,1

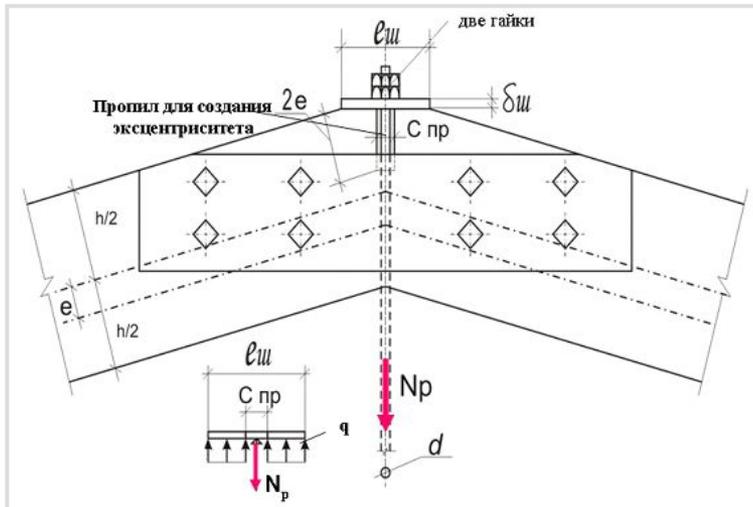


-
- ❑ Усилия в элементах определяют статическим расчетом.
 - ❑ Прочность верхнего пояса проверяют на действие максимального изгибающего момента и продольной силы – как сжато-изгибаемый элемент.
 - ❑ Элементы решетки рассчитывают как центрально растянутые или центрально сжатые элементы.

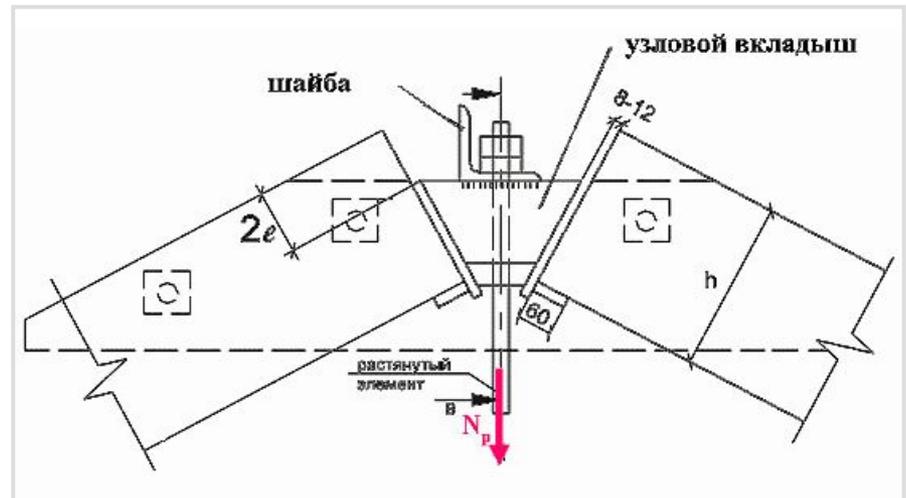
Коньковый узел при опирании растянутой средней подвески:
 а) через шайбу непосредственно на В.П.; б) на стальной вкладыш.



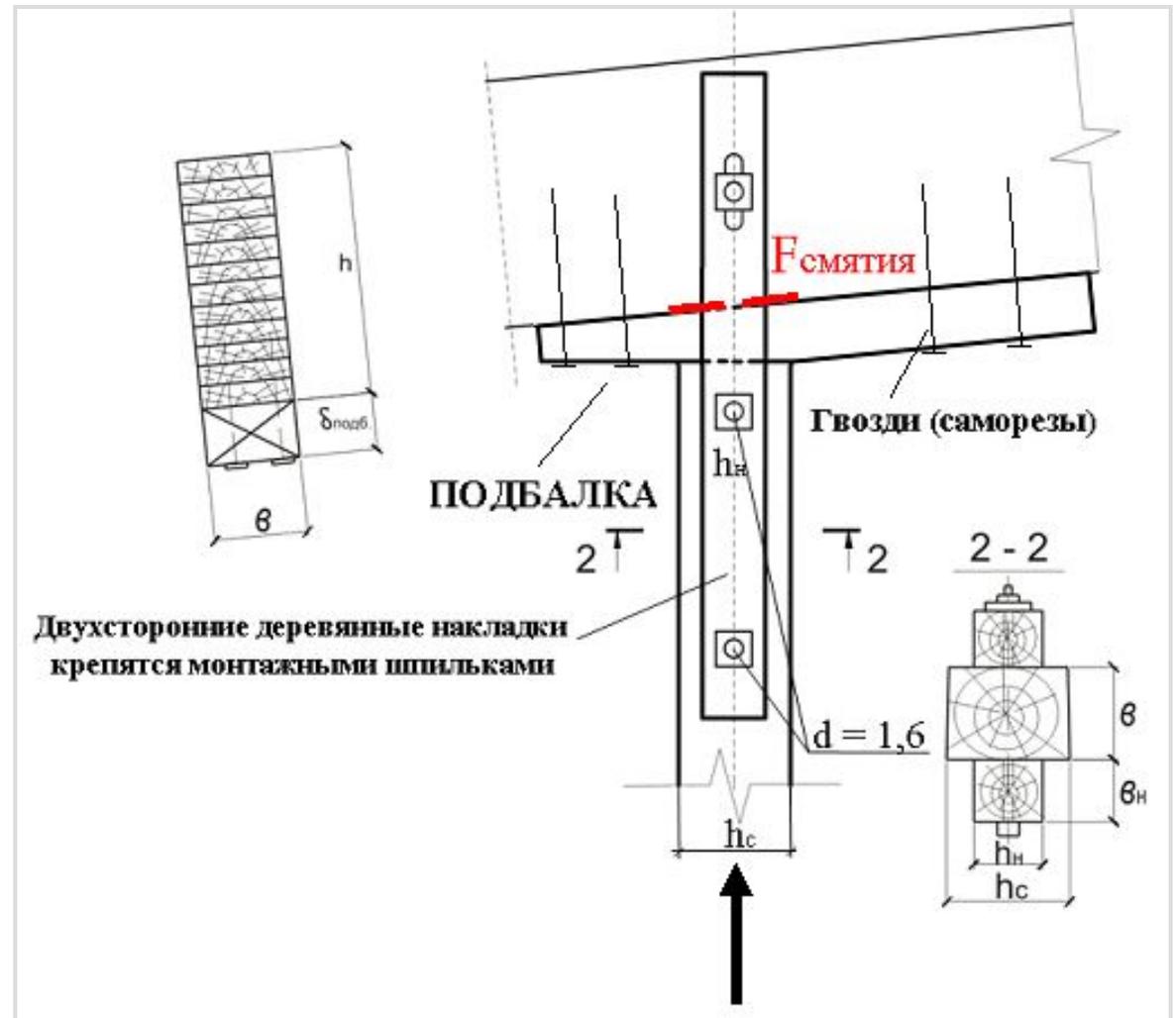
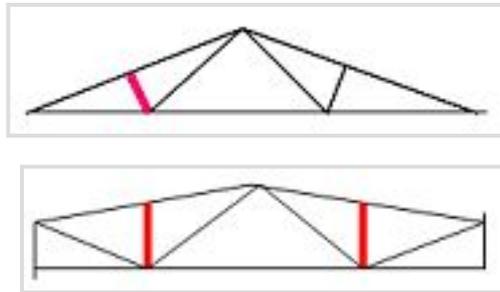
а)



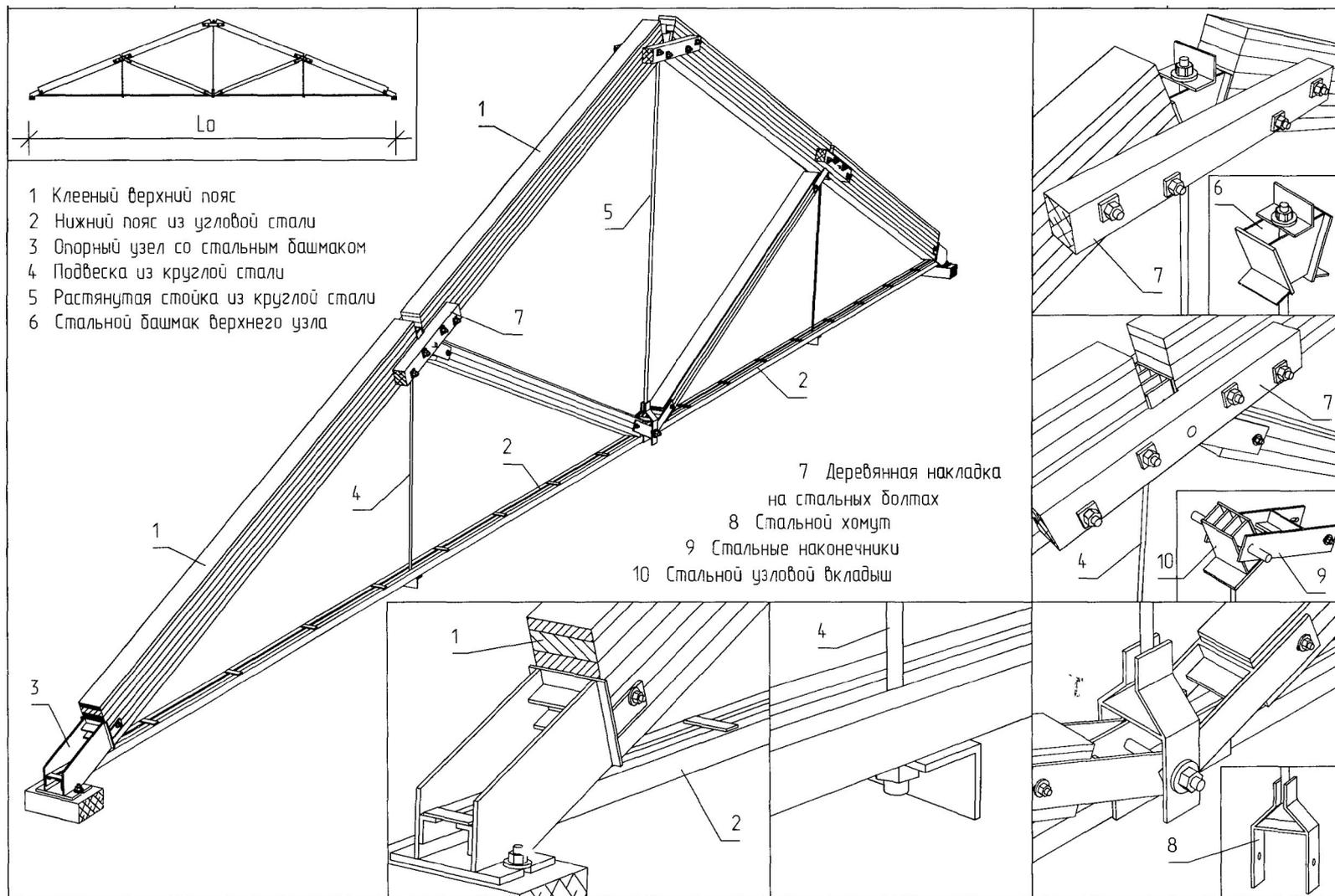
б)



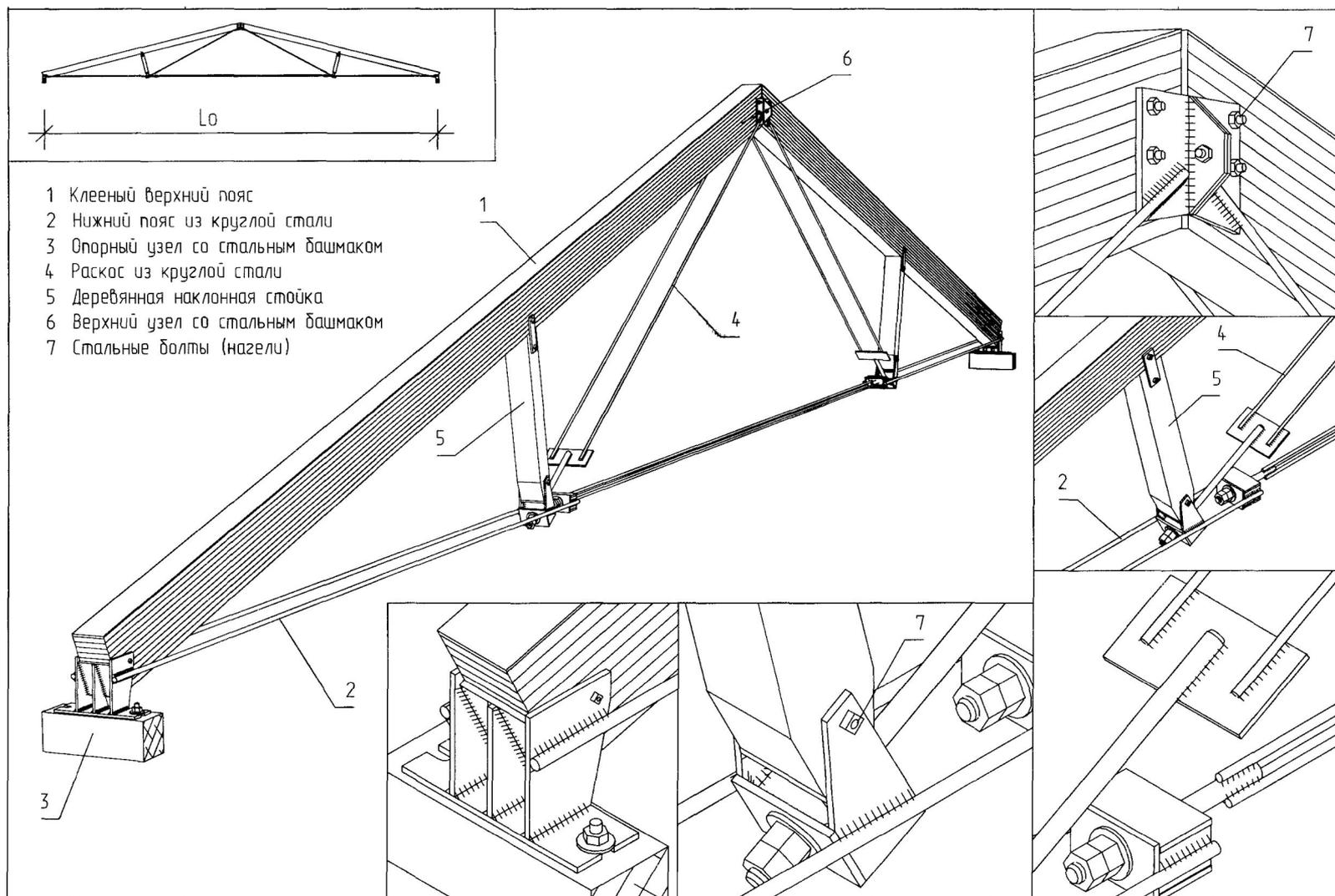
Узел крепления сжатой стойки к верхнему поясу.



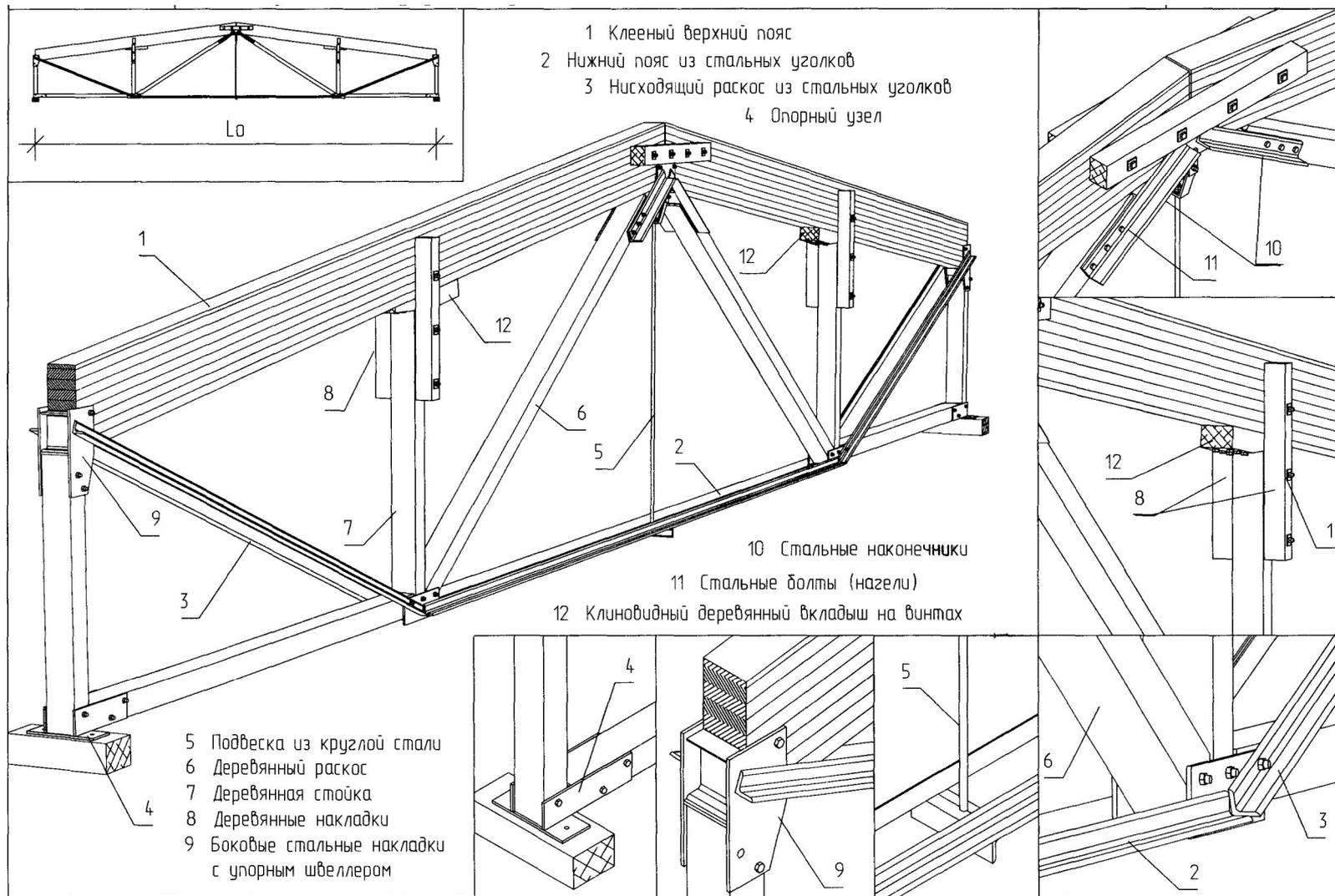
Ферма с разрезным верхним поясом и клееными раскосами



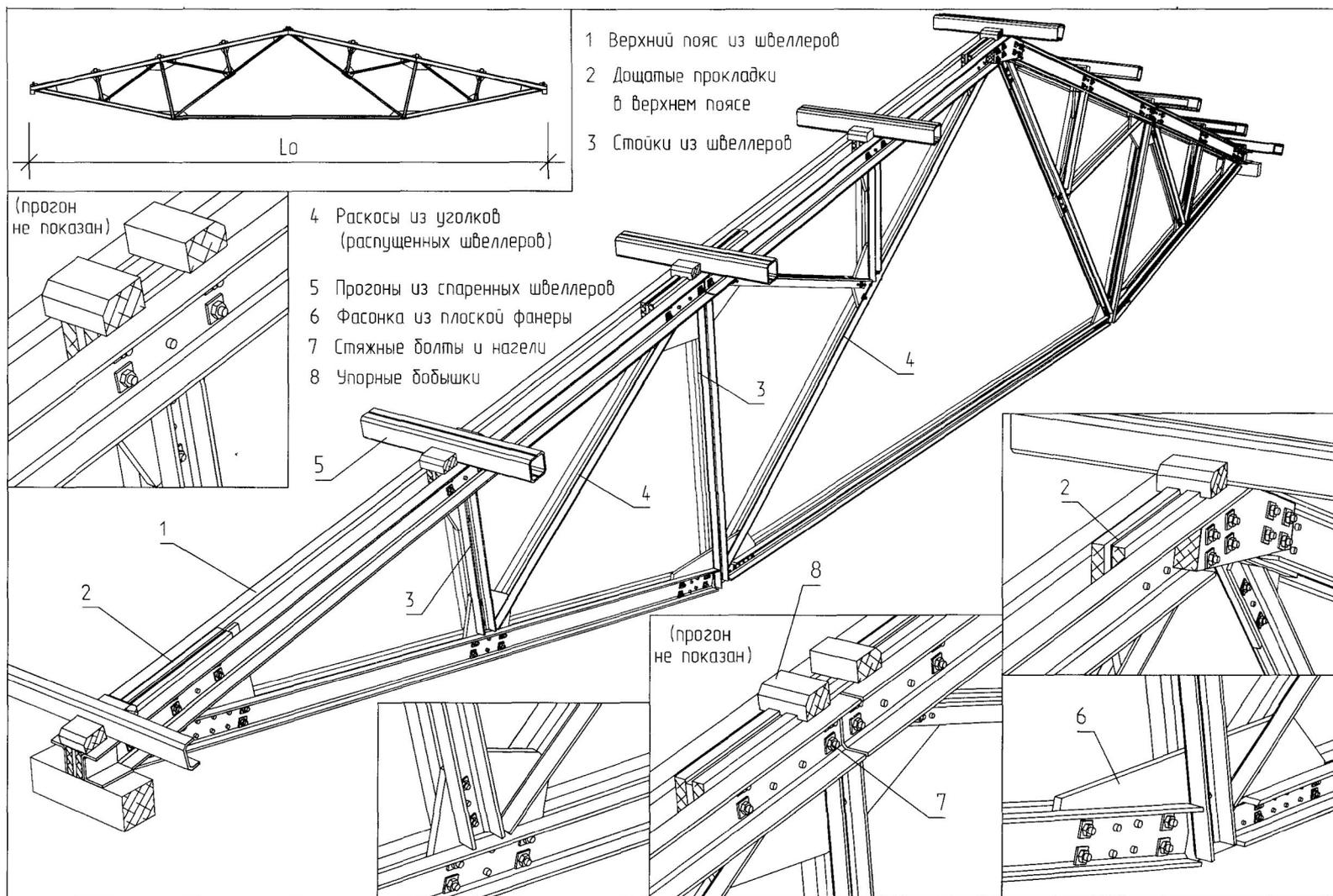
Ферма с неразрезным верхним поясом и клееными стойками



Ферма с неразрезным в.п. и нисходящим опорным раскосом



Ферма из фанерных швеллеров со шпренгельной решеткой

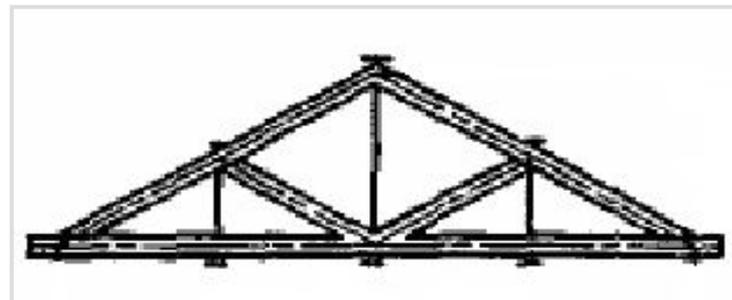
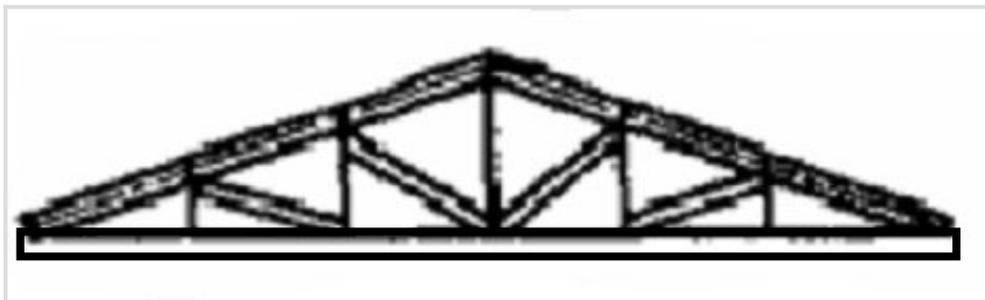


7.1.2 Фермы построечного изготовления

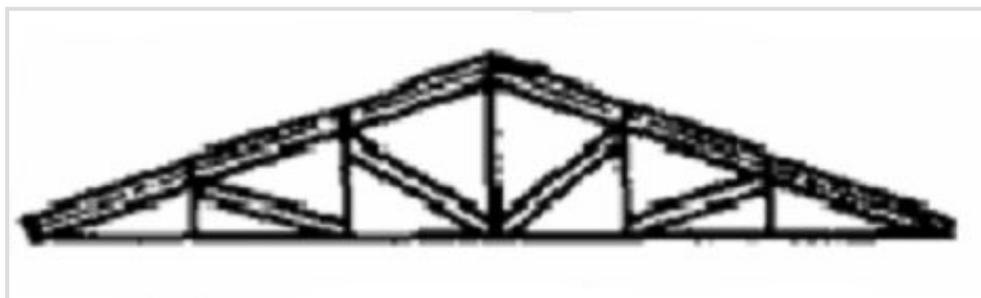
-
- ❑ Это фермы из цельных брусьев, бревен или досок, изготавливаемые на строительной площадке.
 - ❑ Длины панелей верхнего пояса небольшие (≤ 3 м).
 - ❑ Нагрузка прикладывается в узлы.

1) Треугольная ферма из брусьев или бревен

- ❑ Пояса и сжатые раскосы фермы – из брусьев или бревен.
- ❑ Растянутые стойки (подвески) выполняют из металла.



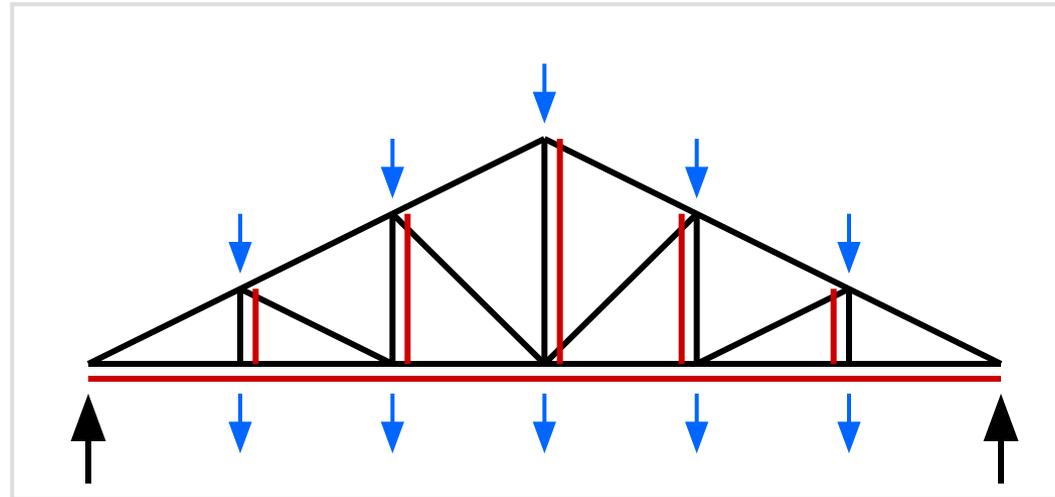
- ❑ Нижние пояса брусчатых ферм иногда выполняют в виде стальных тяжей.



❑ Расчетная схема фермы:

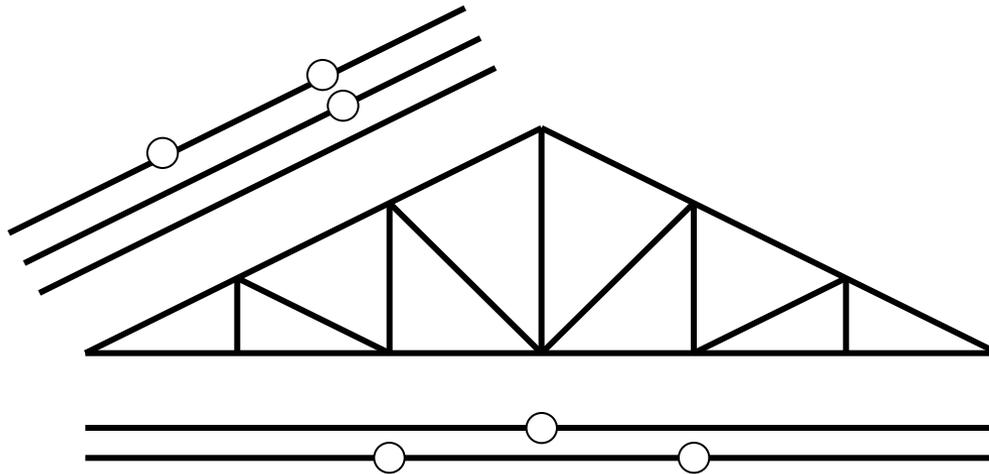
$L=9...18$ м

$H/L=1/5...1/4$

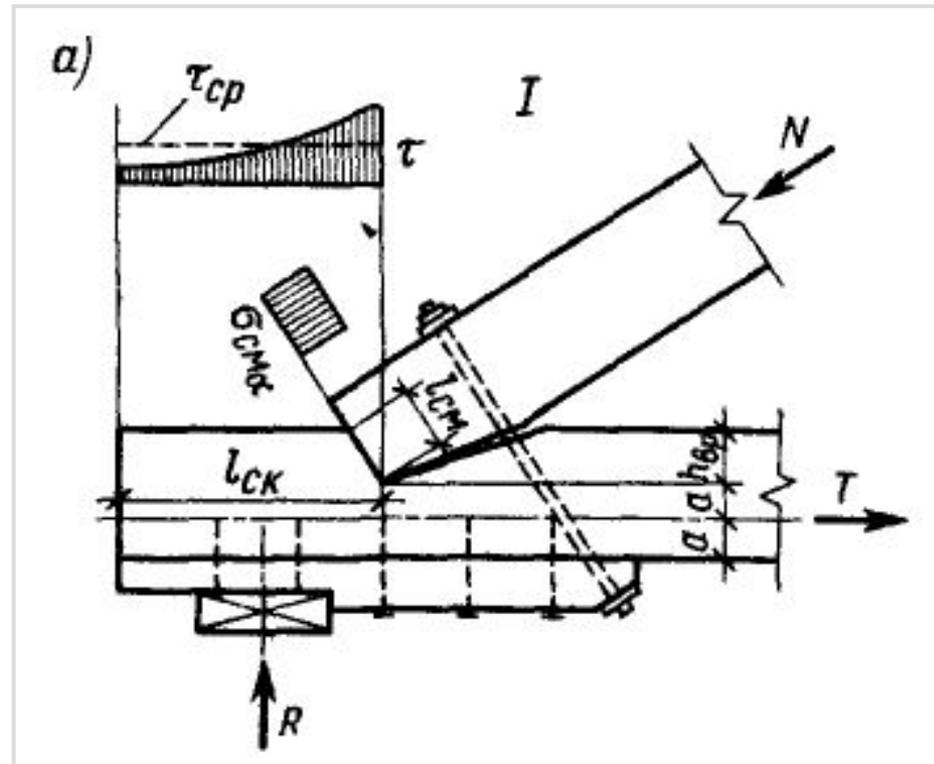


- ❑ Узловые нагрузки от собственного веса фермы и чердачного перекрытия прикладывают в двух вариантах:
- если нет подвесного потолка – все нагрузки к верхнему поясу;
 - если подвесной потолок есть – 0,5 постоянной нагрузки к верхнему поясу и 0,5 к нижнему.
- ❑ Снеговая нагрузка – всегда к верхнему поясу.

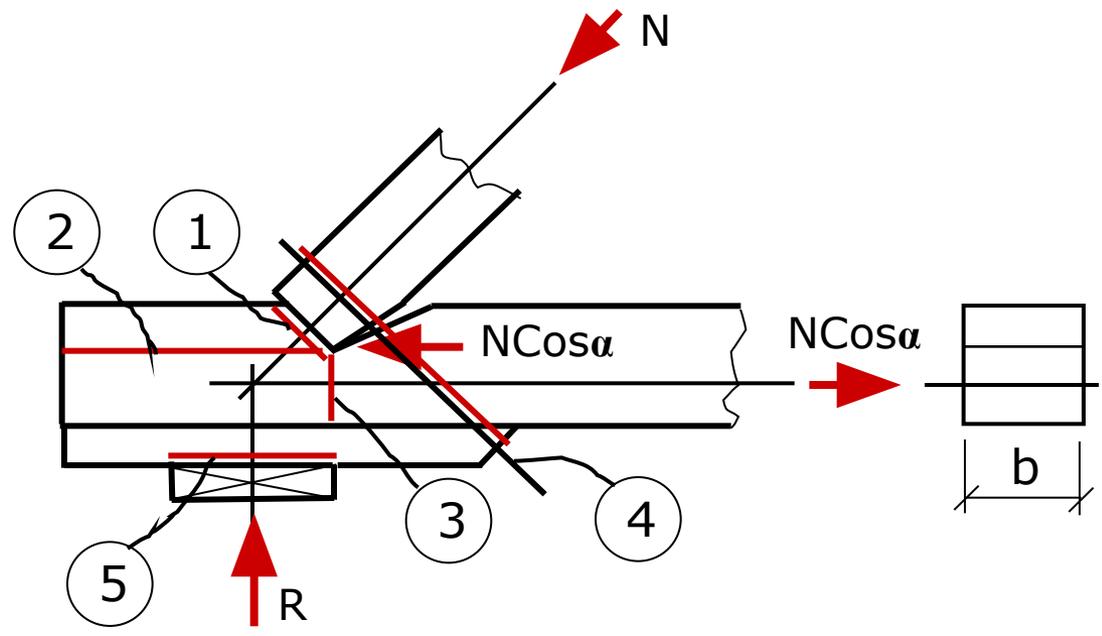
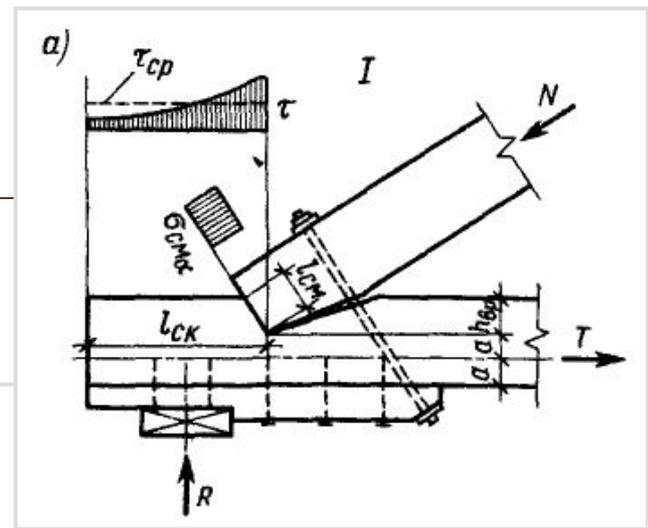
-
- ❑ Усилия в элементах определяют из статического расчета.
 - ❑ При ручном счете узлы принимают шарнирными.
 - ❑ При машинном счете учитывают возможную неразрезность поясов:



- ❑ Конструирование начинают с опорного узла.
- ❑ При усилии в верхнем поясе до $15 t_c$ возможно применение лобовой врубки:

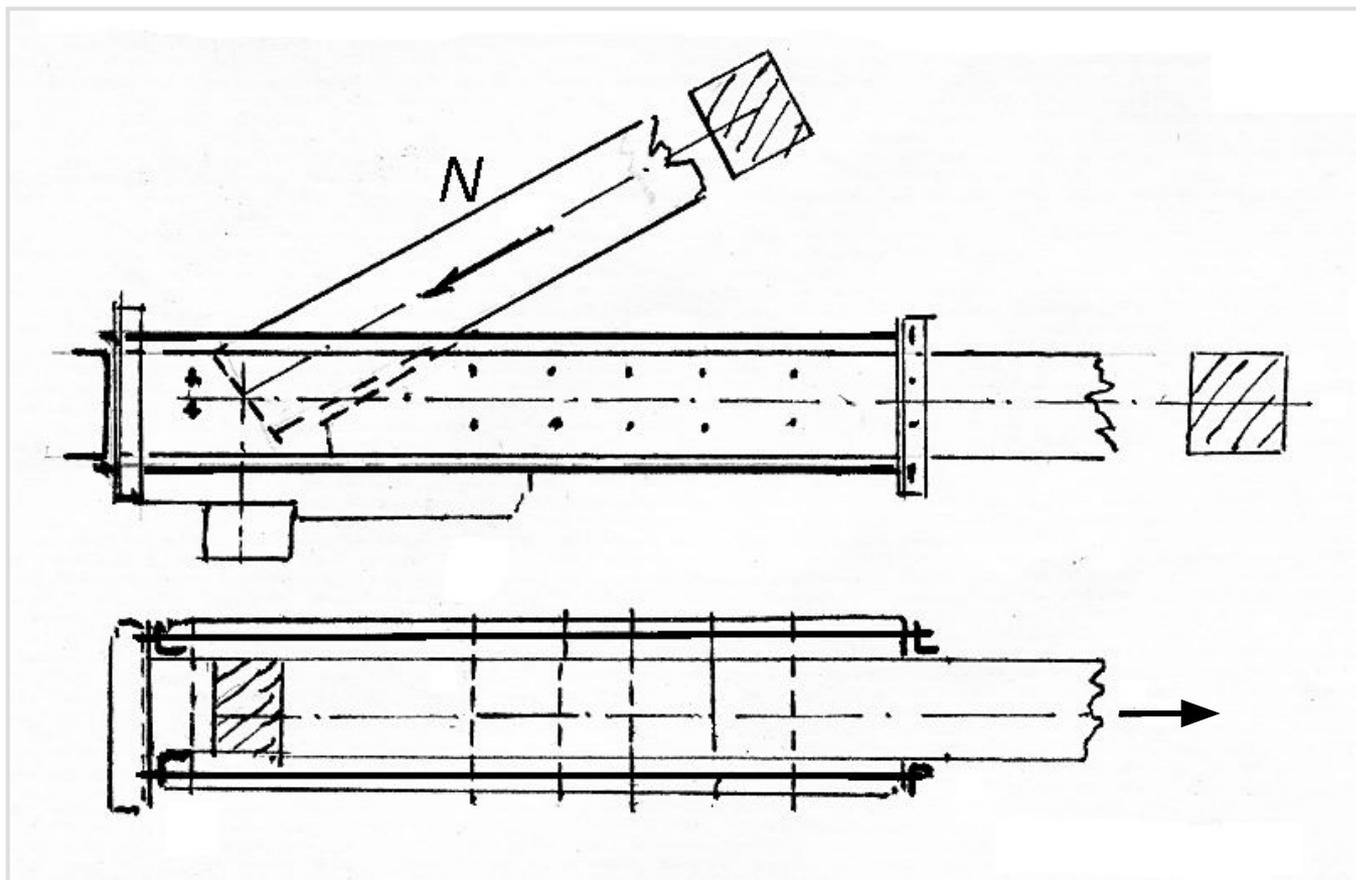


□ Проверяемые сечения:



- 1 – смятие нижнего пояса под верхним;
- 2 – скалывание;
- 3 – разрыв нижнего пояса;
- 4 – аварийный болт на растяжение;
- 5 – смятие опорной площадки.

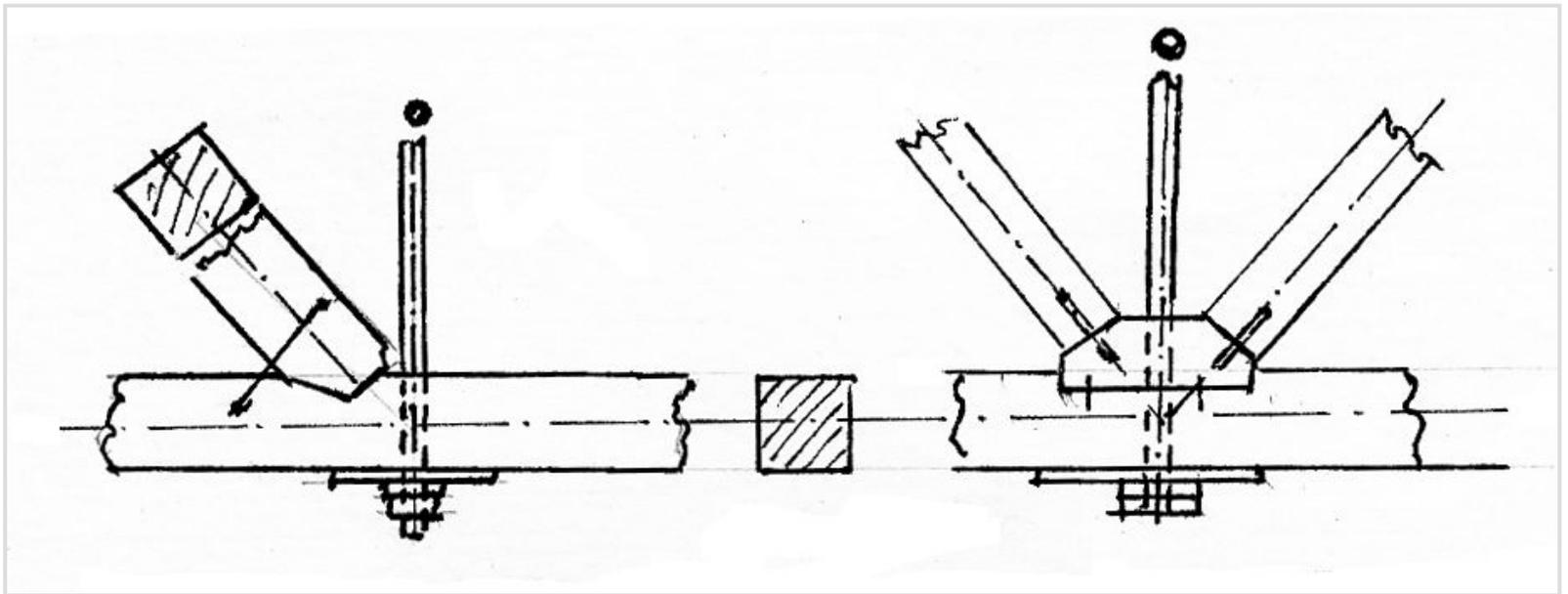
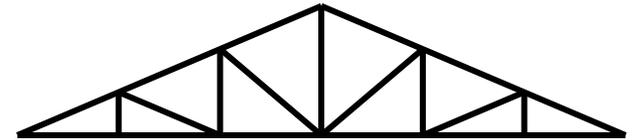
- Опорный узел с лобовым упором на тяжах выдерживает N до 30 тс:



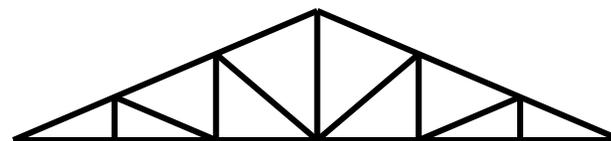
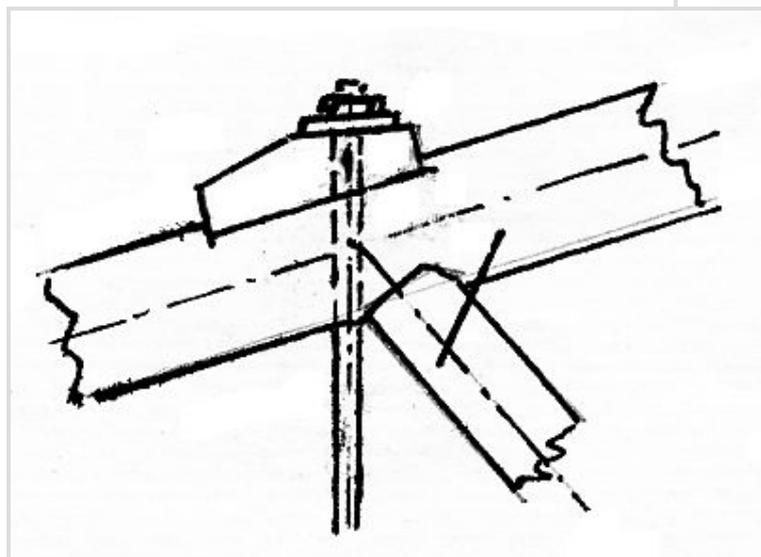
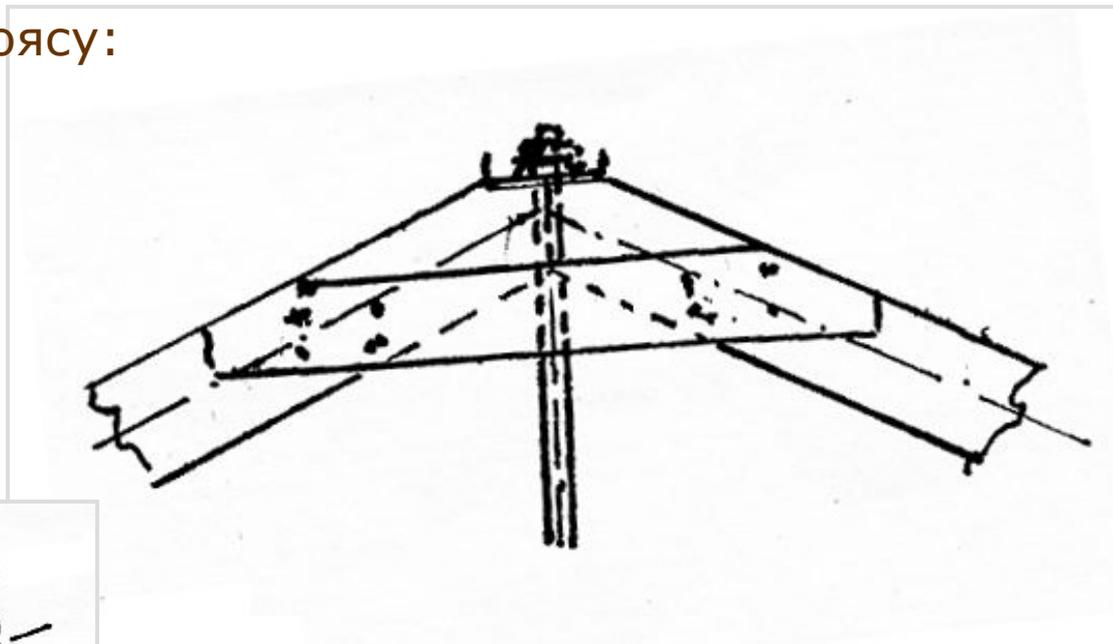
□ Узлы по нижнему поясу:

а) опирание раскоса через лобовую врубку;

б) через врубку и вкладыш.

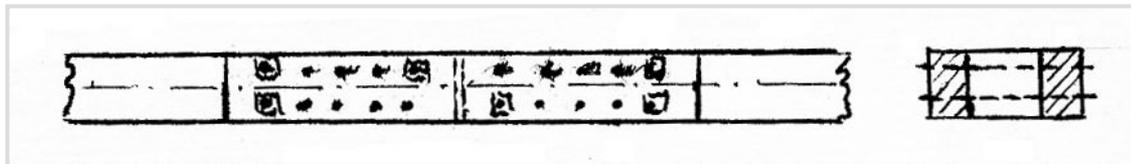


-
- Узлы по верхнему поясу:

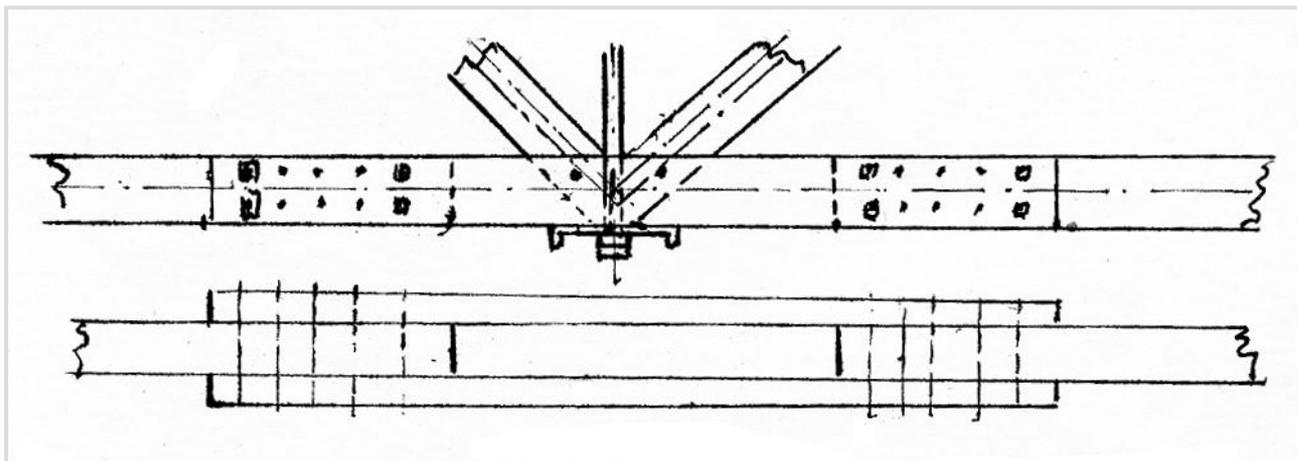


□ Стыки нижнего пояса:

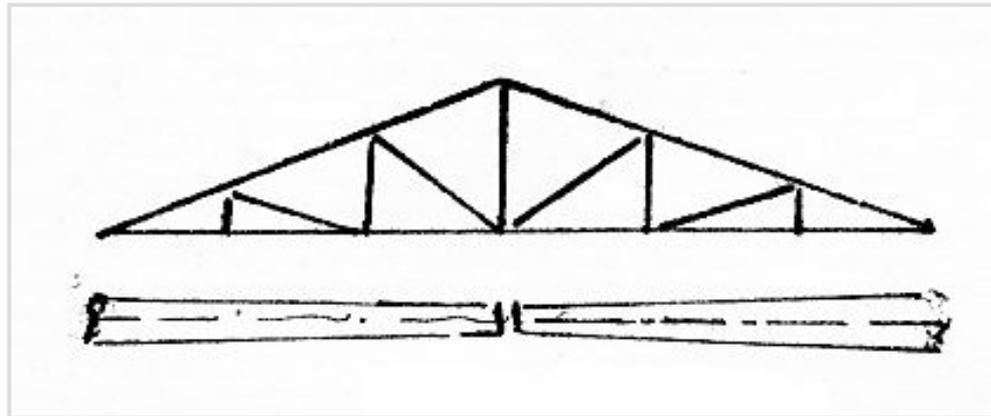
а) в середине панели пояса;



б) совпадающий с узлом.



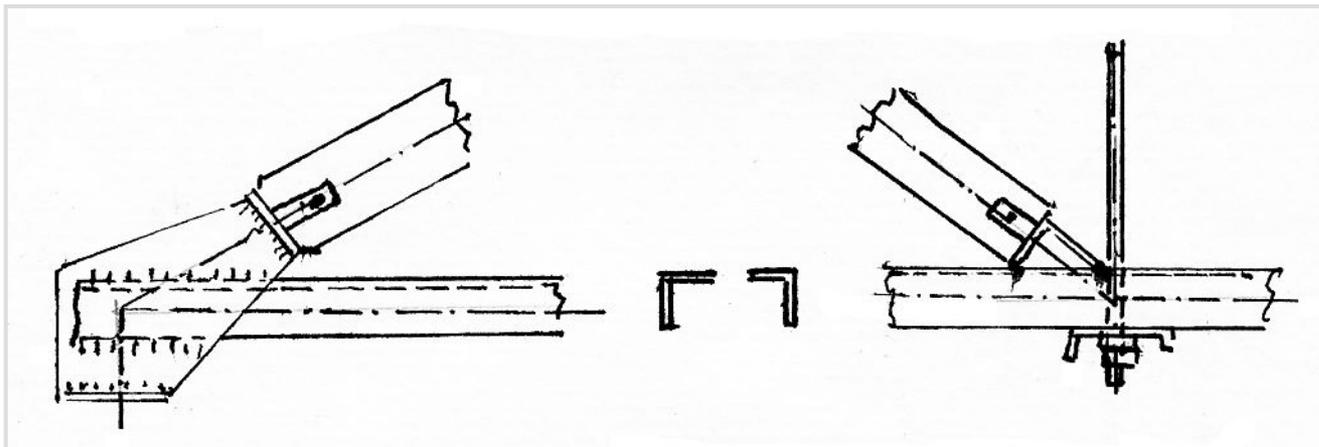
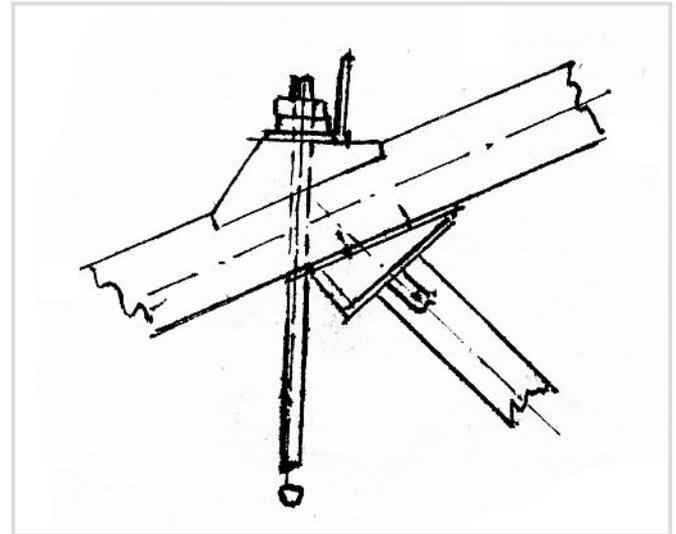
-
- При конструировании ферм из круглого леса учитывается конусообразность бревен:



❑ Узлы ферм с нижним поясом из уголковой стали:

❑ Рассчитывают:

- древесину на прочность по смятию;
- металлические пластины на изгиб;
- тяжи на растяжение;
- сварные соединения.

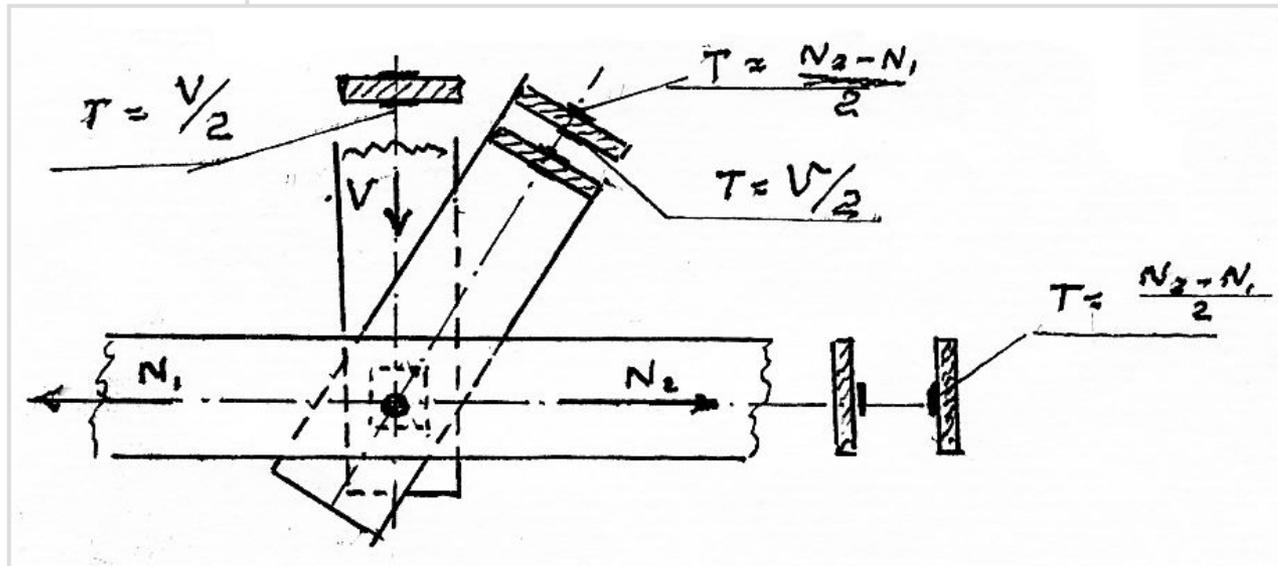
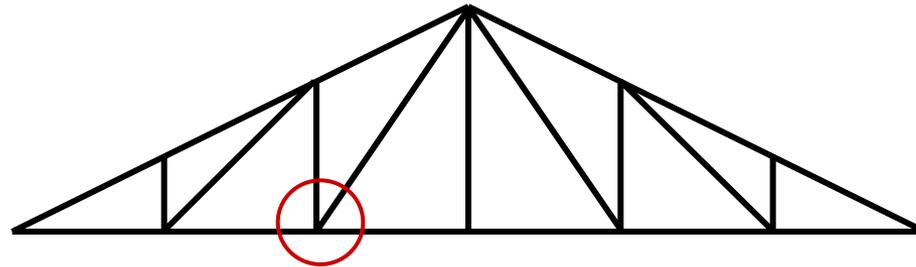


2) Треугольная ферма из досок

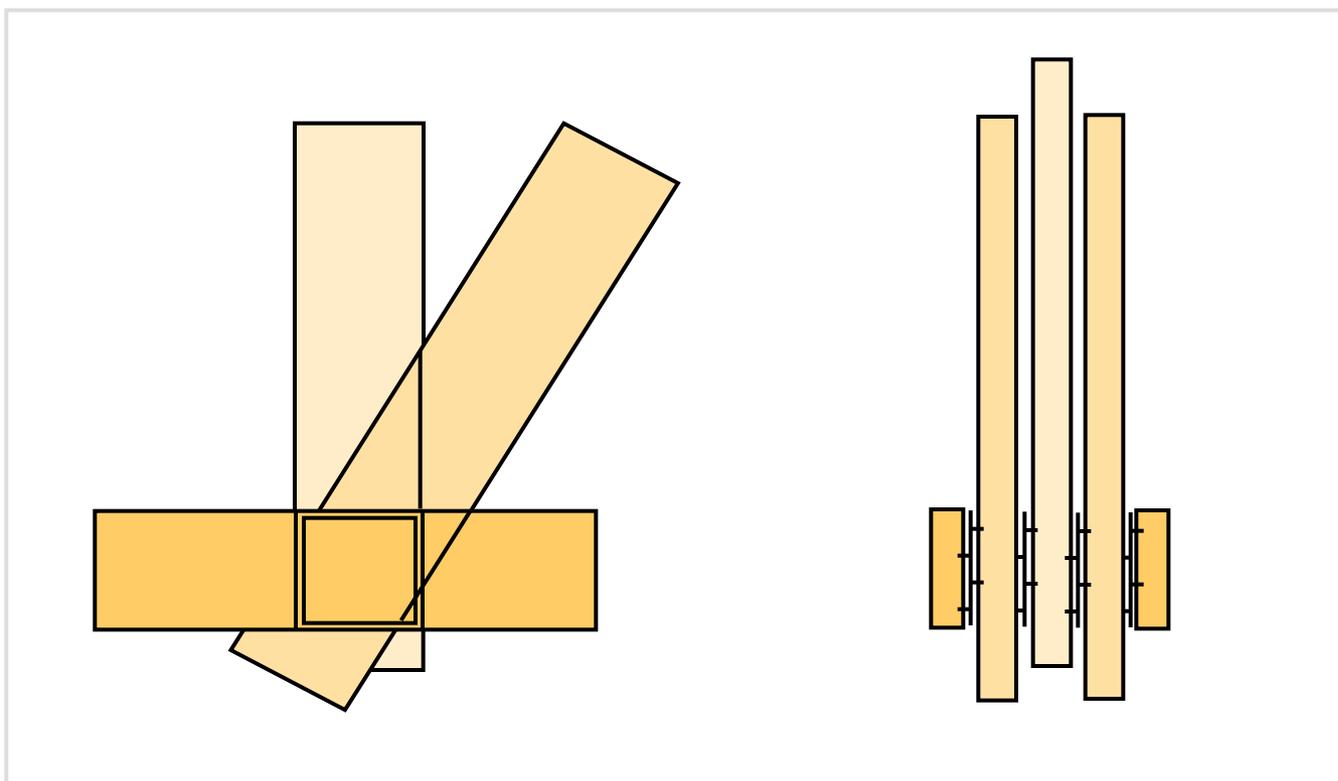
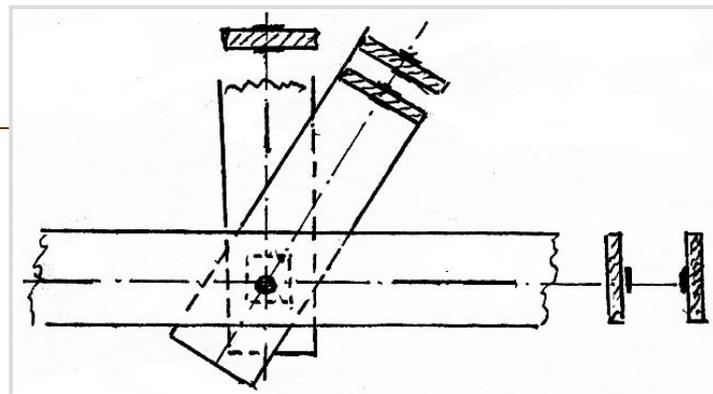
- Незначительные растягивающие усилия в раскосах позволяют конструировать узловые соединения на **кольцевых шпонках** или **металлических зубчатых пластинах**.

$L=9...15$ м

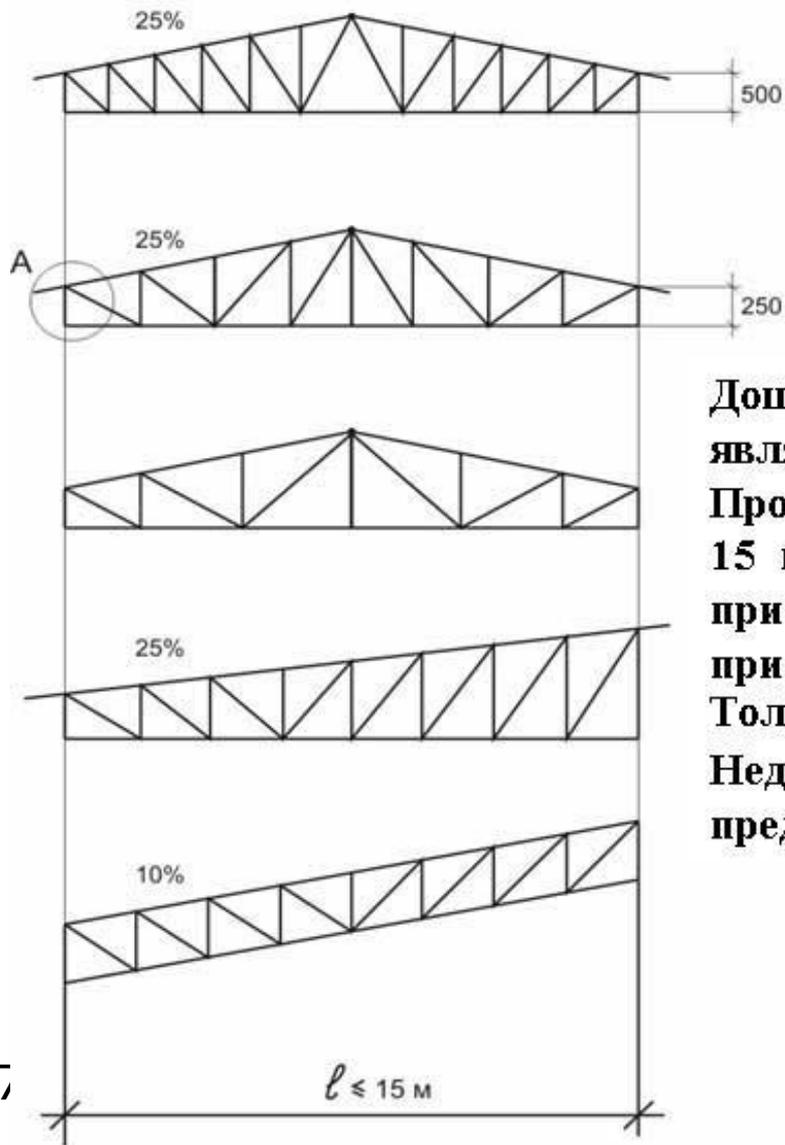
$H/L=1/5...1/7$



Сборка узла:

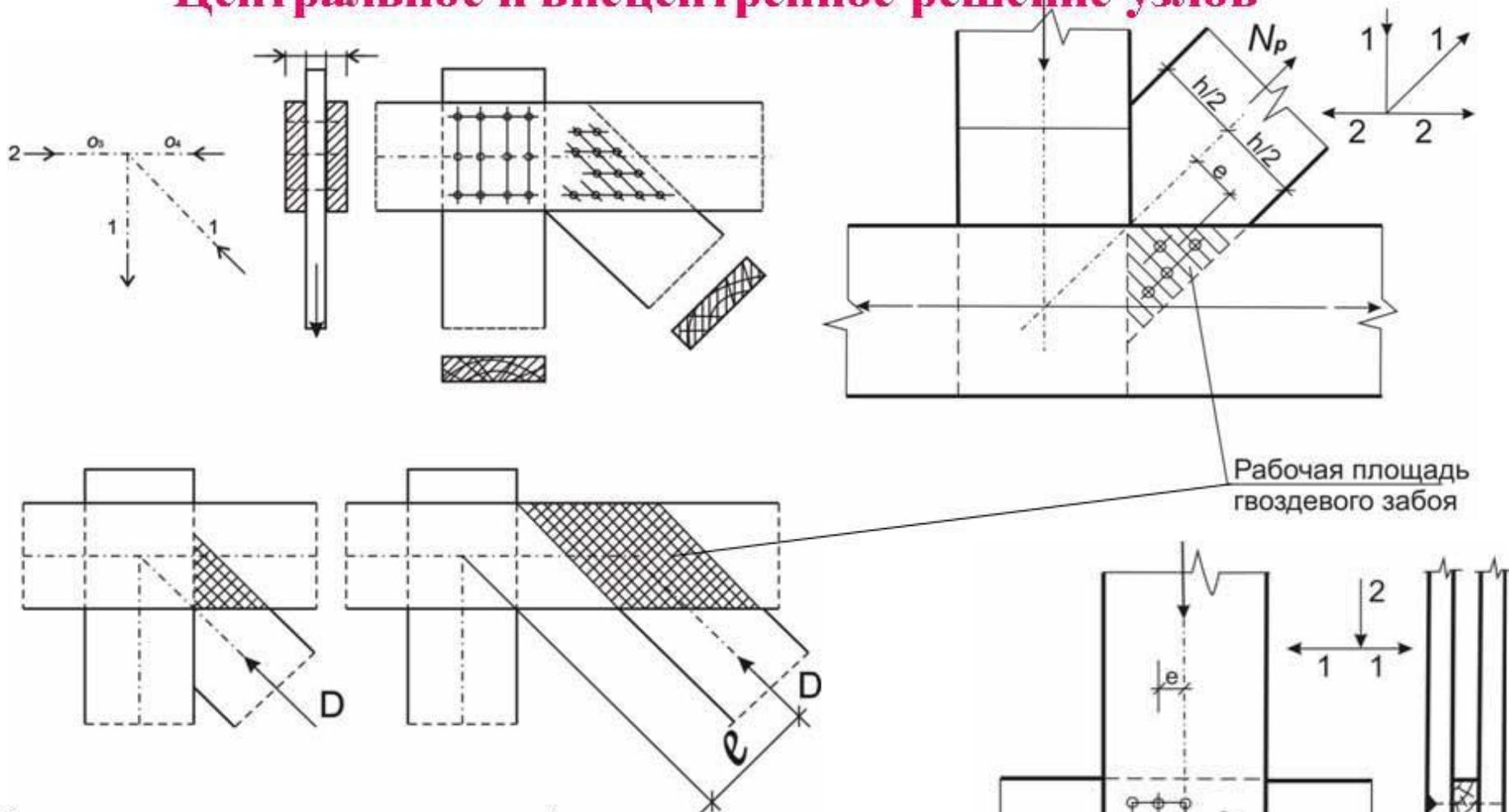


3) Дощато-гвоздевые фермы



Дощато-гвоздевые фермы – цельнодеревянные, являются конструкциями построечного изготовления. Просты в изготовлении. Применяются при пролетах до 15 м при шаге от 1,5 до 3 м. Строительная высота принимается в пределах $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{5}$ от пролета. Допускается применение пиломатериала влажностью до 25%. Толщина пиломатериала применяется 40 – 50 мм. Недостатком данных конструкций является низкий предел огнестойкости, повышенная деформативность.

Центральное и внецентренное решение узлов

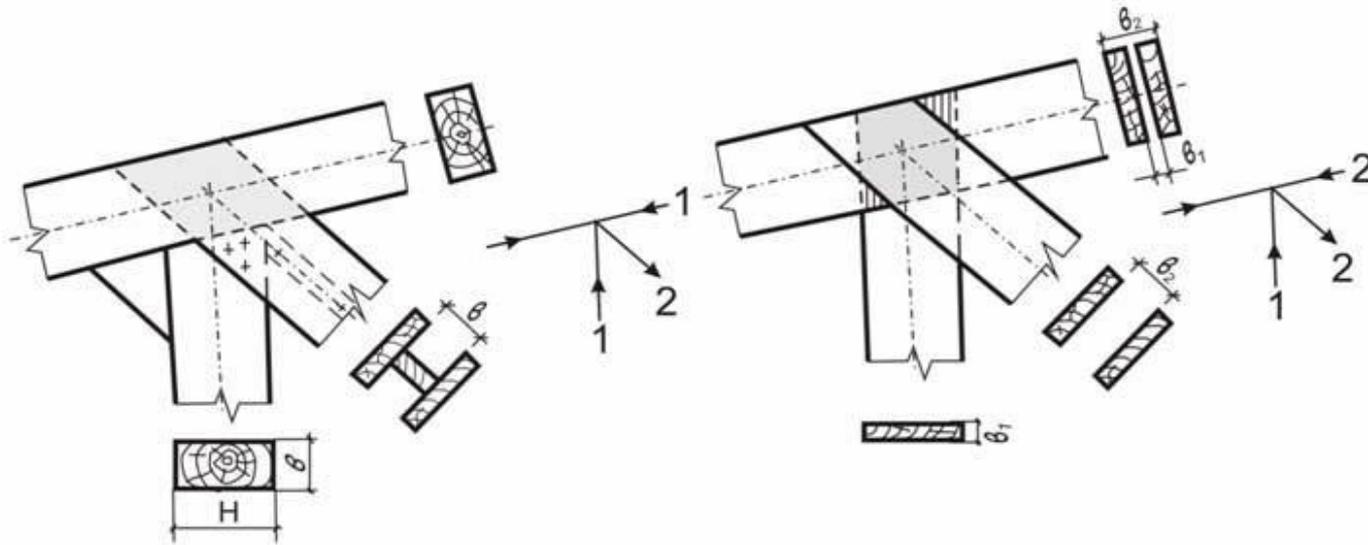


При центрированном решении узла общая площадь сопряжения элементов часто бывает недостаточной для размещения расчетного количества гвоздей. При центрированном решении гвоздевое соединение может подвергаться действию момента от внецентренного приложения усилия в раскосе относительно центра гвоздевого соединения.

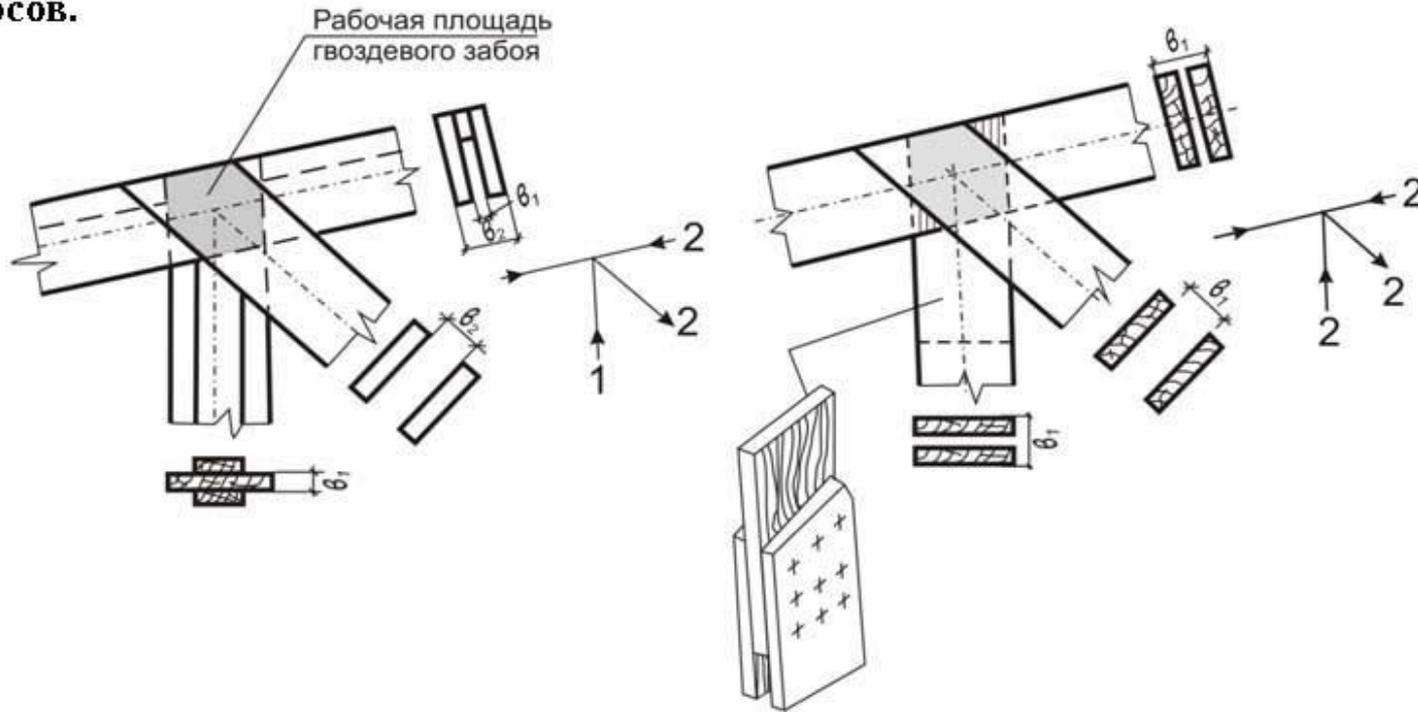
При внецентренном решении узлов следует проверять пояса на действие дополнительного момента ($D \cdot e$) от усилия в раскосах.

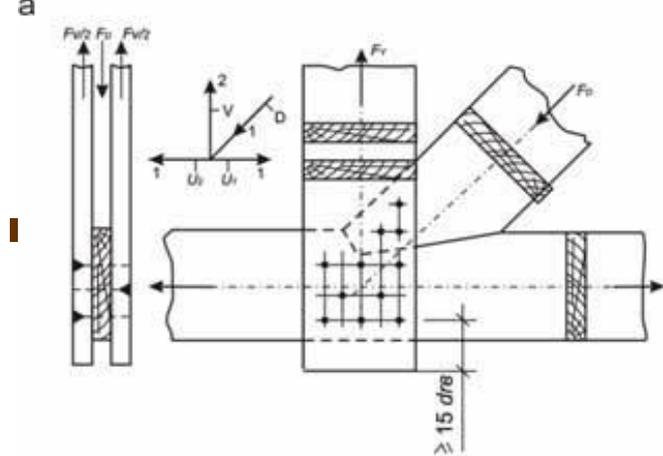
Такого решения следует избегать

УЗЛЫ ВЕРХНЕГО ПОЯСА



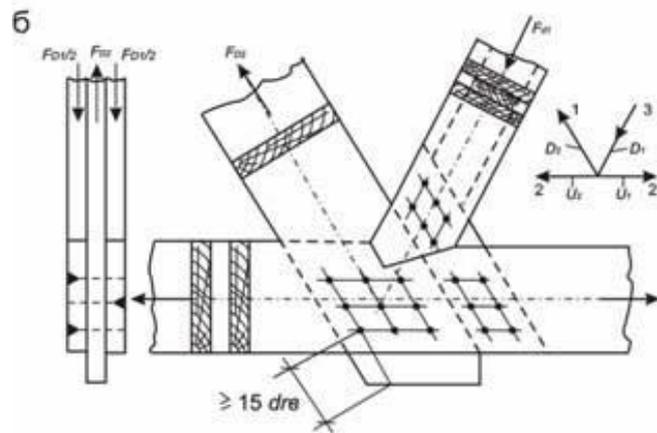
Представлены различные варианты решения поперечного сечения верхнего пояса и раскосов.



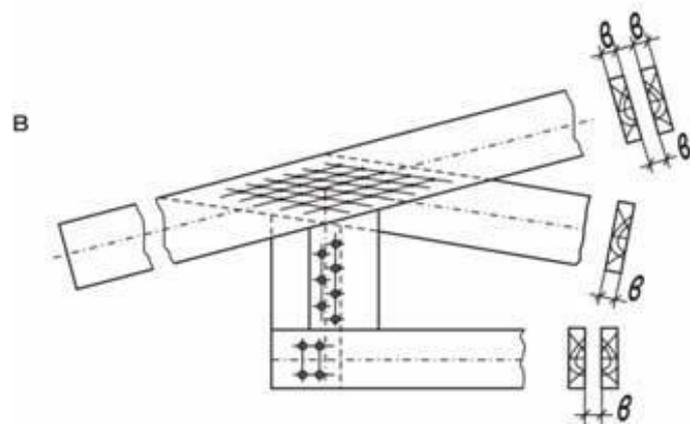


Определение необходимого количества гвоздей:

$$n = \frac{N}{n_{cp} T_{min}}$$

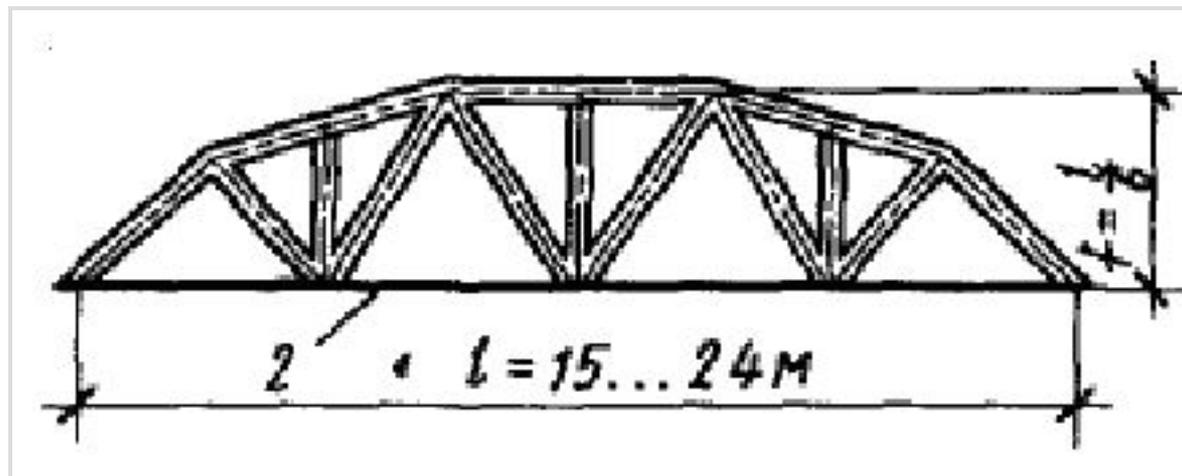


Шаблон для забивки гвоздей

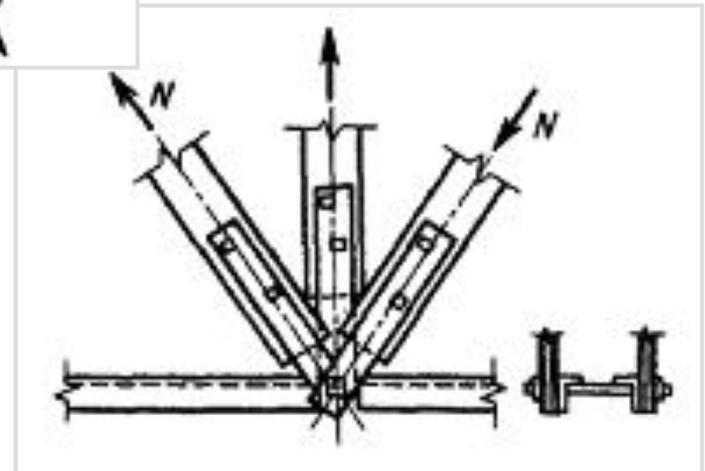
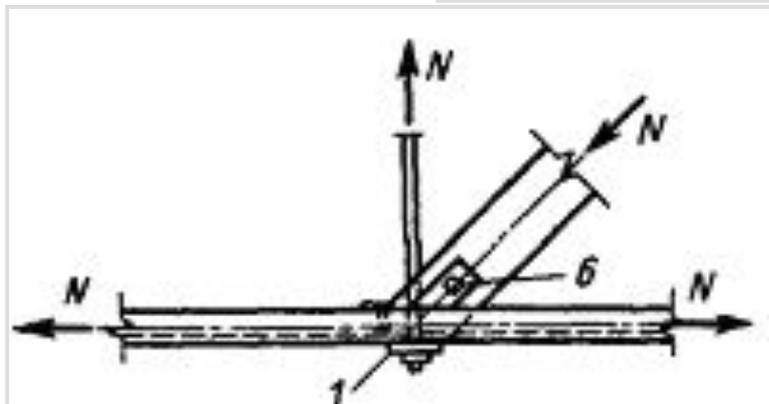
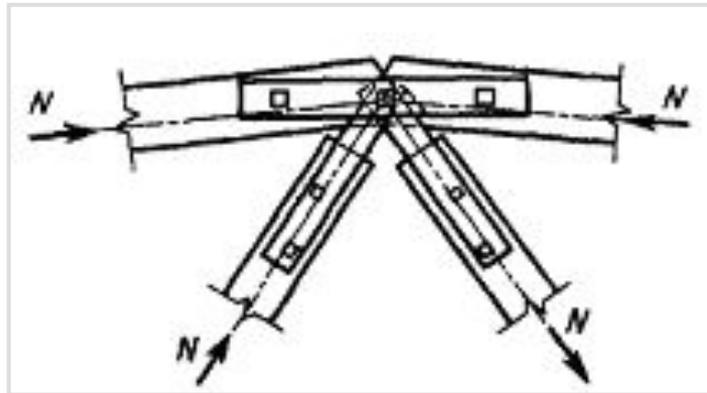


4) Многоугольная ферма из брусьев

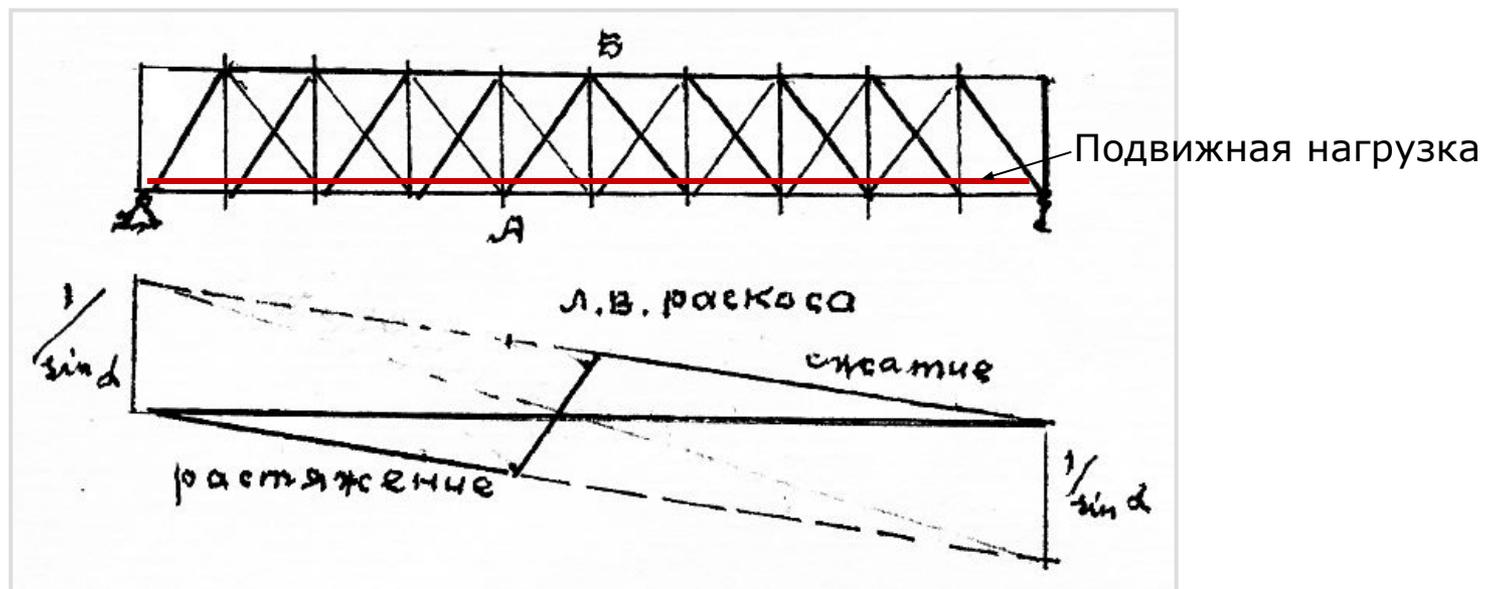
- ❑ Верхний пояс брусчатый разрезной.
- ❑ Элементы решетки из бруса.
- ❑ Нижний пояс из металла.



- Геометрический и статический расчеты выполняются как для сегментной фермы.
- Конструкция узлов аналогична узлам сегментной фермы.



5) Ферма с параллельными поясами Гау-Журавского



- Пояса рассчитывают на продольные силы при изгибе

$$N = M_0 / h_0 :$$

- M_0 – изгибающий момент относительно точки Риттера;
- h_0 – расстояние между осями поясов ферм.

-
- ❑ Решетка – из перекрестных раскосов.
 - ❑ Знак усилия в восходящем к середине фермы раскосе может меняться.
 - ❑ По конструкции узлов раскосы воспринимают только сжимающее усилие $N=Q/\sin\alpha$

Q – поперечная балочная сила в точке примыкания раскоса к нижнему поясу.

α – угол наклона раскоса;

Нисходящий к середине фермы раскос

Восходящий к середине фермы раскос

