

ДЕРЕВЯННЫЕ АРКИ И РАМЫ

- *1. Арки. Конструирование арок.*
- *2. Рамы. Конструктивные решения.*
- *3. Расчет рам и арок.*

1. Арки. Конструирование арок.

Достоинства деревянных арок:

- архитектурная выразительность деревянных арочных покрытий;
- конструкции арок являются простыми и состоят из минимального числа элементов;
- повышенный предел огнестойкости;
- достаточно длительное сопротивление загниванию и разрушению в химически агрессивных средах.



Классификация арок: по статическим схемам:

- Трехшарнирные



- статически определимы;
- усилия в их сечениях не зависят от осадок опор и деформаций затяжек;
- транспортабельны

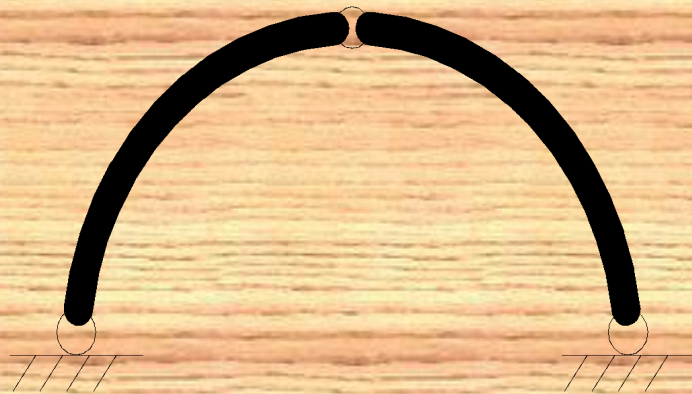
- двухшарнирные



- применяются реже.
- усилия в сечениях зависят от осадки опор, деформаций затяжек.
- не могут делиться на транспортабельные элементы.

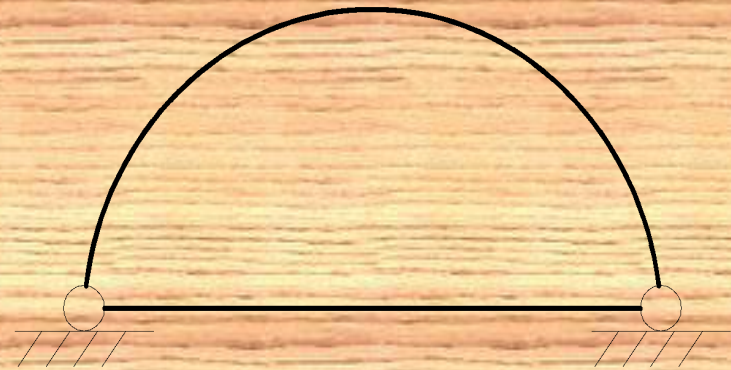
по особенностям опирания:

- без затяжек



- просты
- опоры должны рассчитываться на вертикальные и горизонтальные усилия (распор).

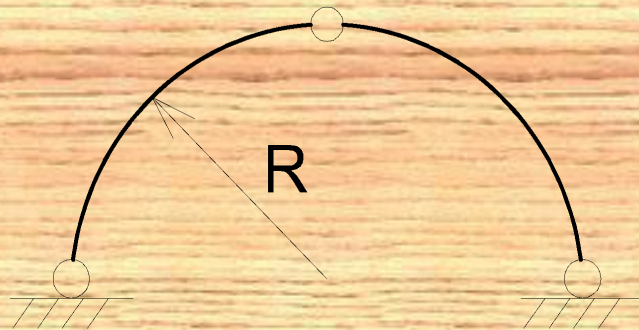
- с затяжками



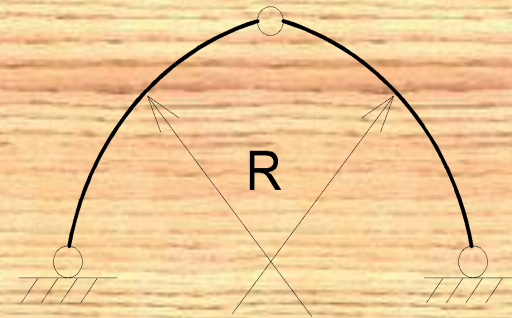
- сложнее по конструкции
- верхний пояс рассчитывают на вертикальные усилия, горизонтальные усилия воспринимает затяжка.

по форме осей

сегментные



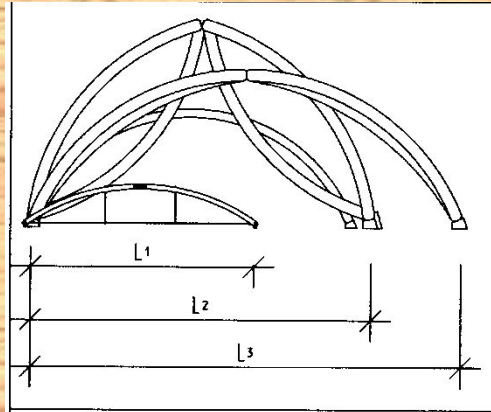
стрельчатые



с ломаными осями

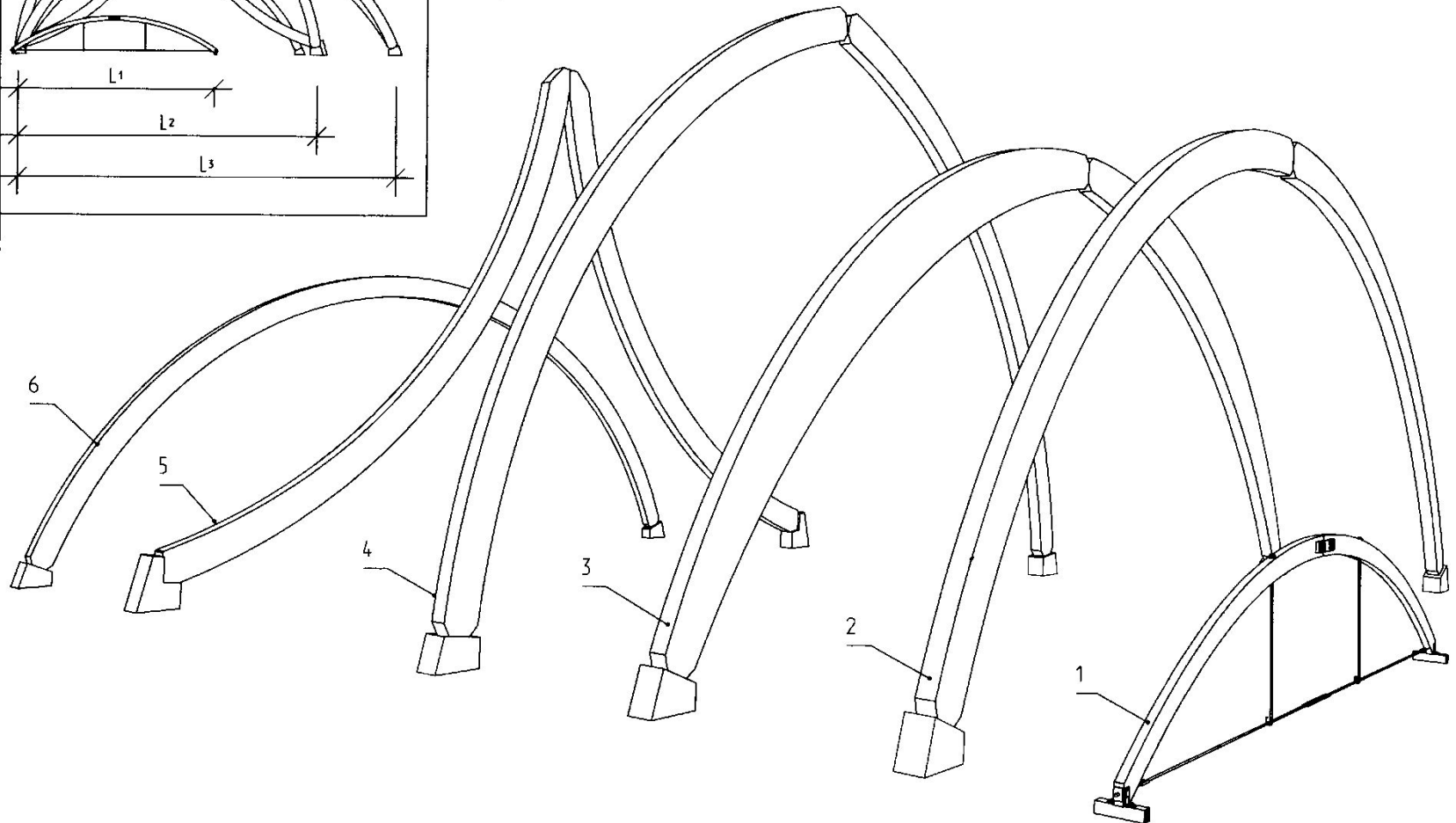


Классификация арок



1. Сегментная арка с металлической затяжкой
2. Трехшарнирная кругового очертания
3. Трехшарнирная кругового очертания и переменного сечения

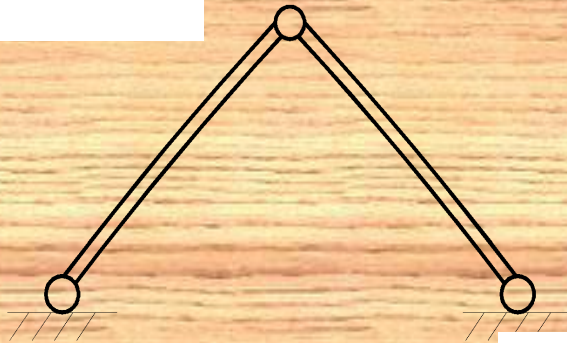
4. Трехшарнирная стрельчатого очертания
5. Трехшарнирная килевидного очертания
6. Двухшарнирная кругового очертания



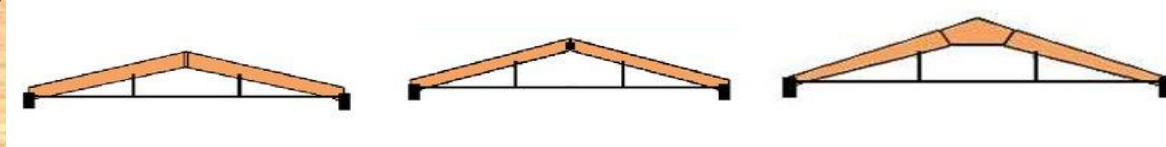
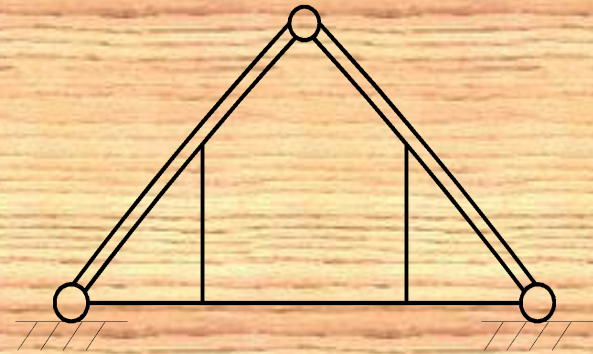
по форме осей

треугольные

- *треугольные распорные системы*

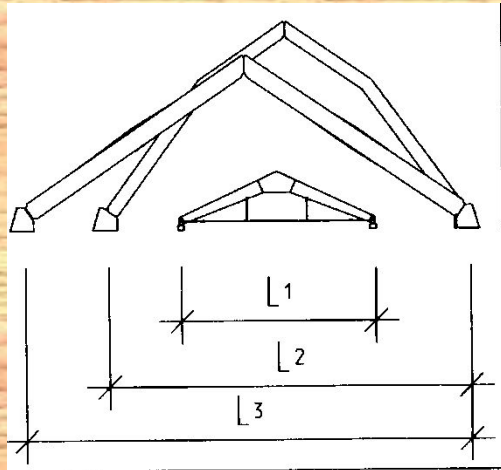


- *безраскосными треугольными фермами*



Пологие арки со стрелой подъема $1/6 \div 1/8$ пролета решаются с затяжками, высокие – со стрелой подъема до $1/2$ пролета – без затяжек.

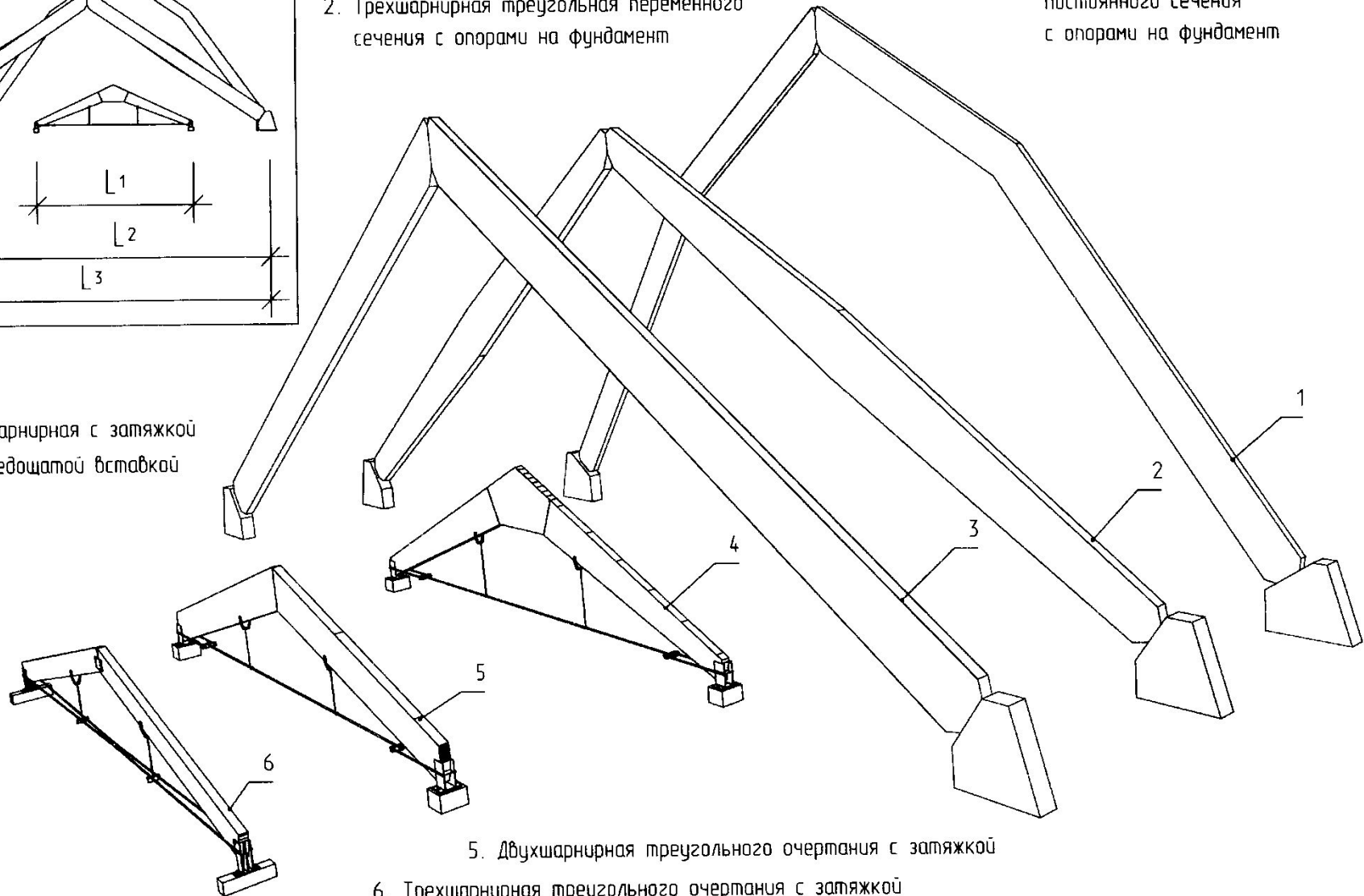
Классификация арок



1. Трехшарнирная ломаного очертания с опорами на фундамент
2. Трехшарнирная треугольная переменного сечения с опорами на фундамент

3. Трехшарнирная треугольная постоянного сечения с опорами на фундамент

4. Двухшарнирная с затяжкой и клецовчатой вставкой

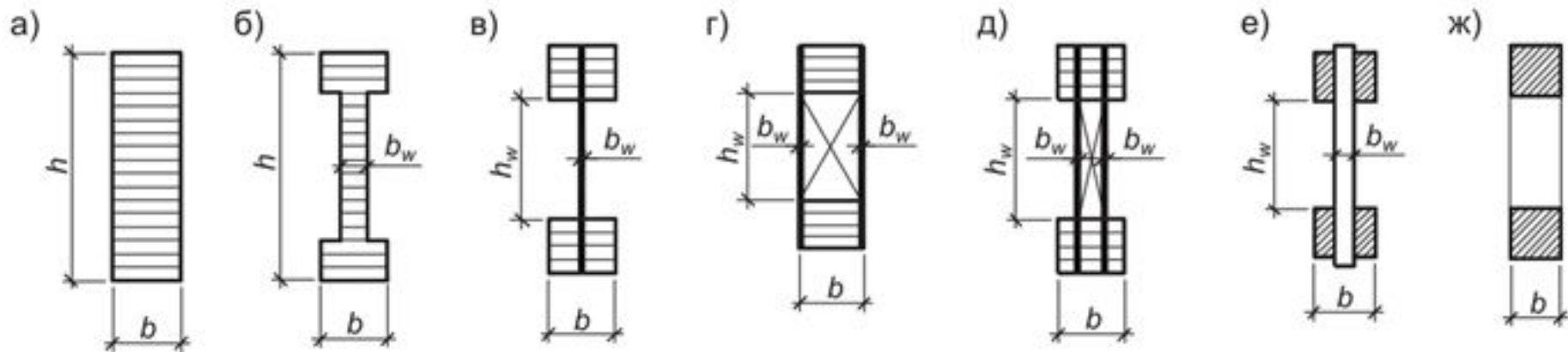


5. Двухшарнирная треугольного очертания с затяжкой

6. Трехшарнирная треугольного очертания с затяжкой

Классификация по виду сечения

- прямоугольного из слоистой клееной древесины,
- двутаврового клеефанерного сечения,
- коробчатого, коробчато-двутаврового сечения
- постоянного и переменного поперечного сечения по длине



Сечения арок:

- а — прямоугольное; б — двутавровое;
в — клеефанерное двутавровое; г — клеефанерное коробчатое;
д — клеефанерное двутаврово-коробчатое;
е, ж — сечения решетчатых арок**

классификация

В зависимости от материала:

- дощатоклееными
- клеефанерными

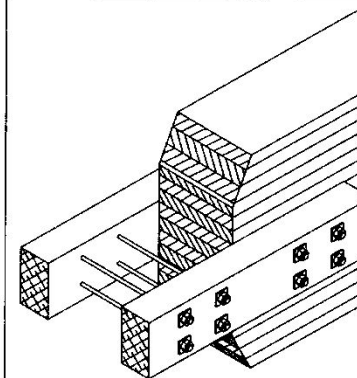
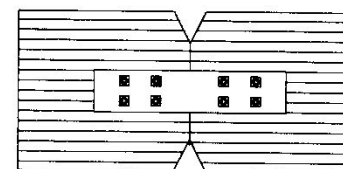
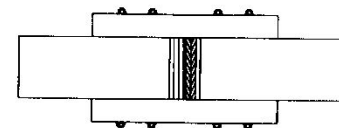
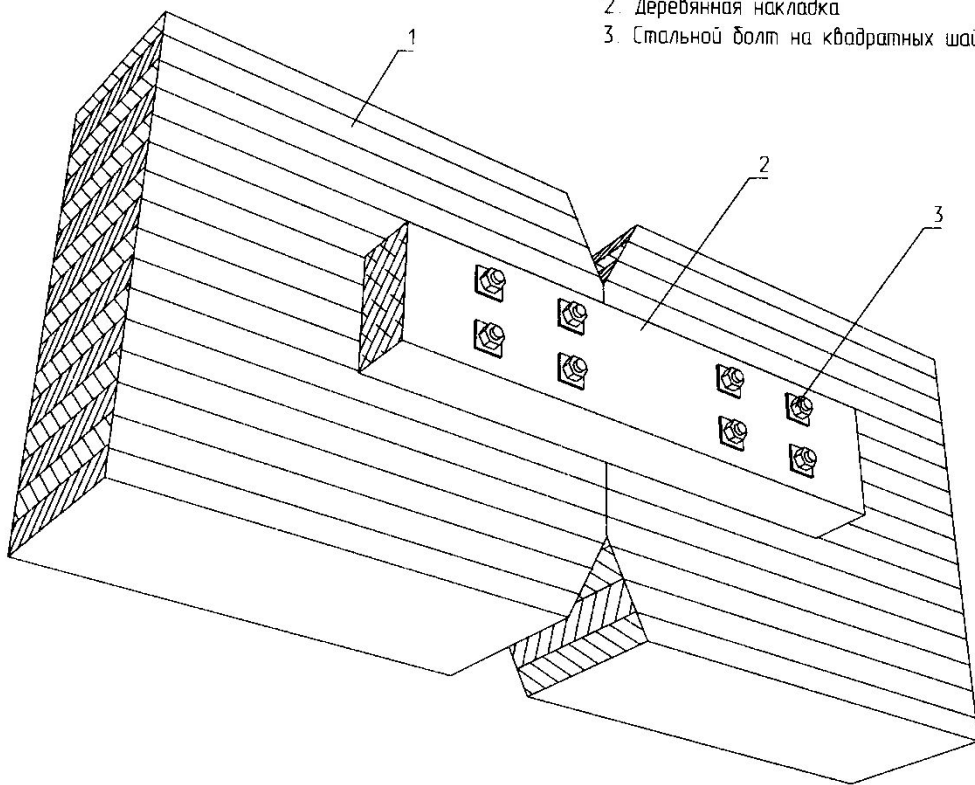
В зависимости от типа соединений:

- на клею,
- нагелях
- кольцевых и зубчато
кольцевых шпонках
- гвоздях.

Способ соединения арок в коньке

При помощи деревянных накладок и болтов

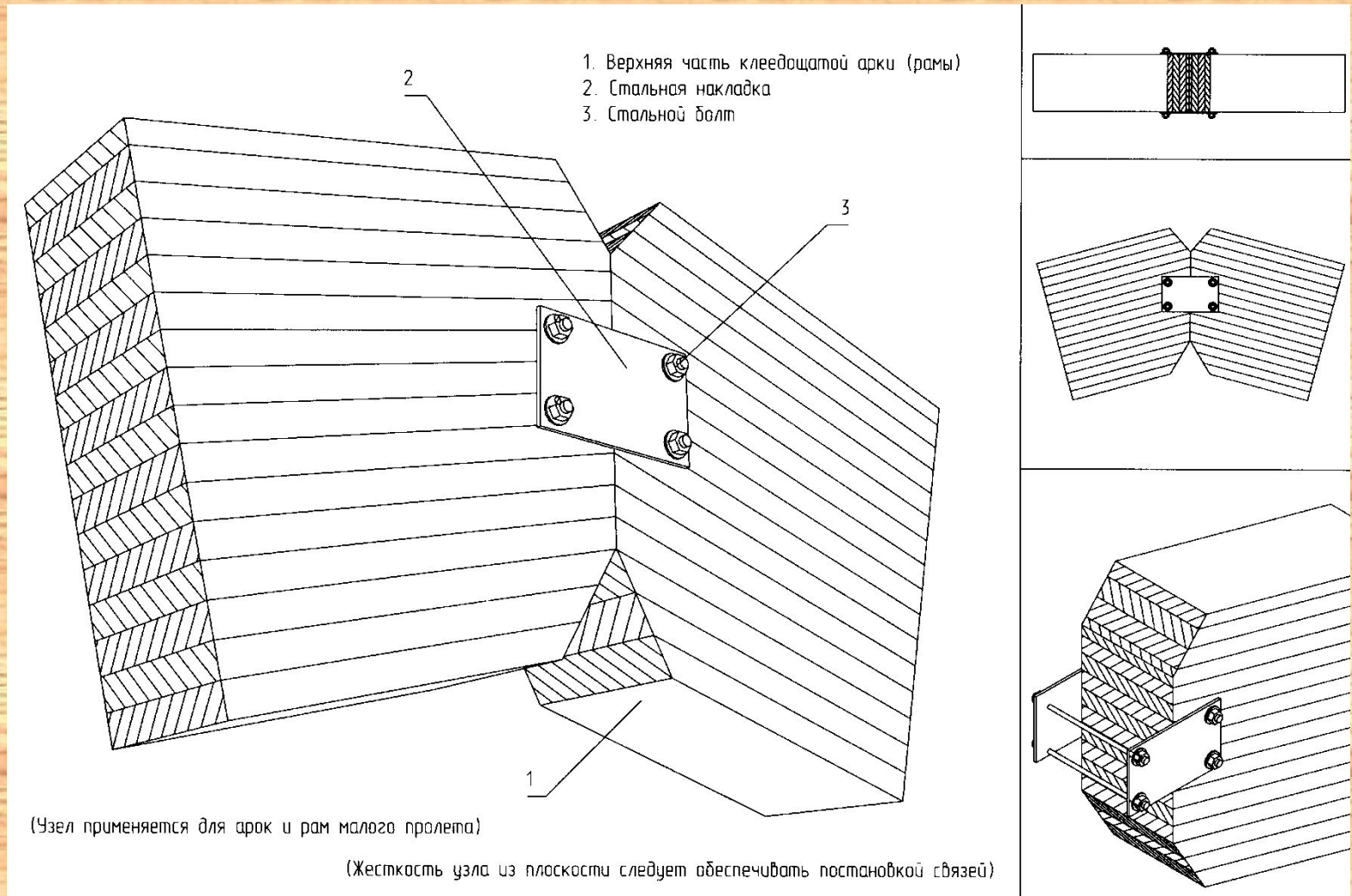
1. коньковая часть полуарки
2. Деревянная накладка
3. Стальной болт на квадратных шайбах



(Узел применяется для арок малого пролета)

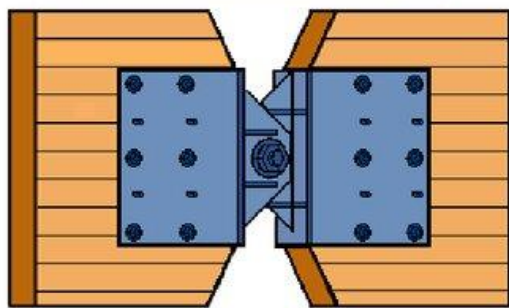
Способ соединения арок в коньке

При помощи стальных накладок и болтов

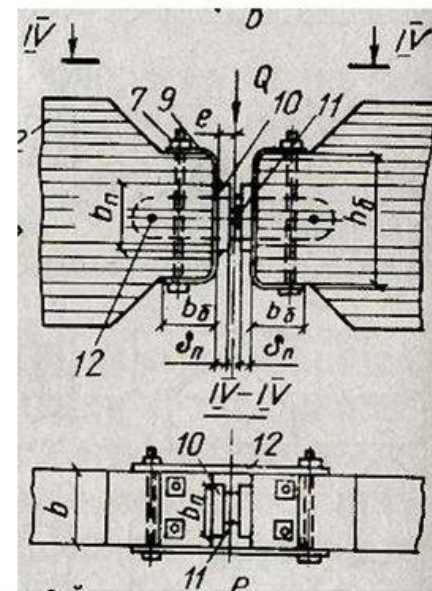
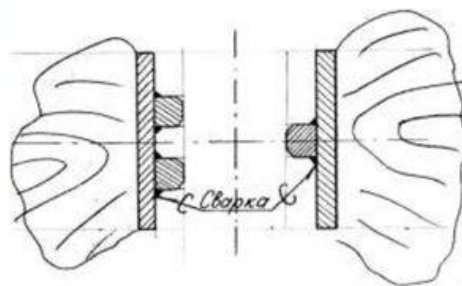
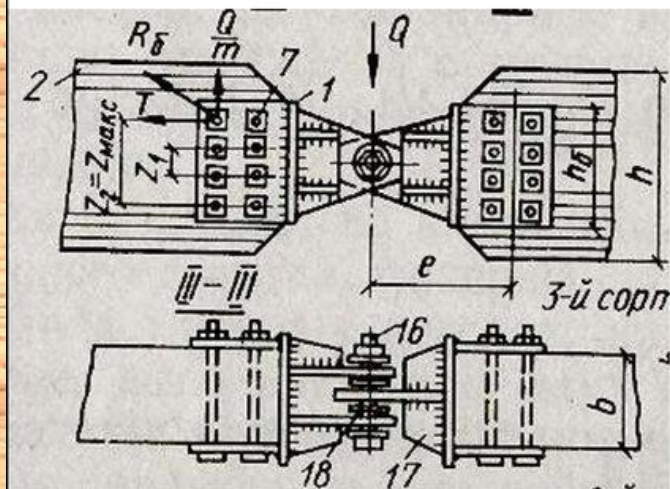
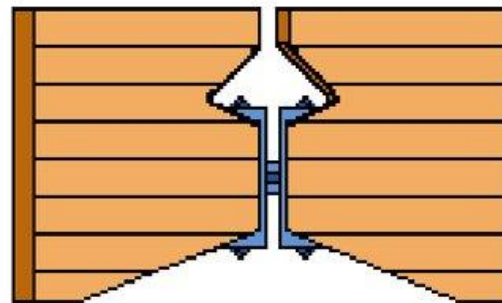
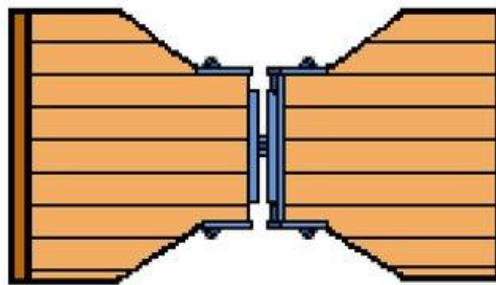


Коньковые узлы большепролетных трехшарнирных арок (при пролете более 18 м) выполняют в виде стальных классических шарниров качающегося или поворотного типа (валиковых, плиточных, балансирных).

Валиковый шарнир

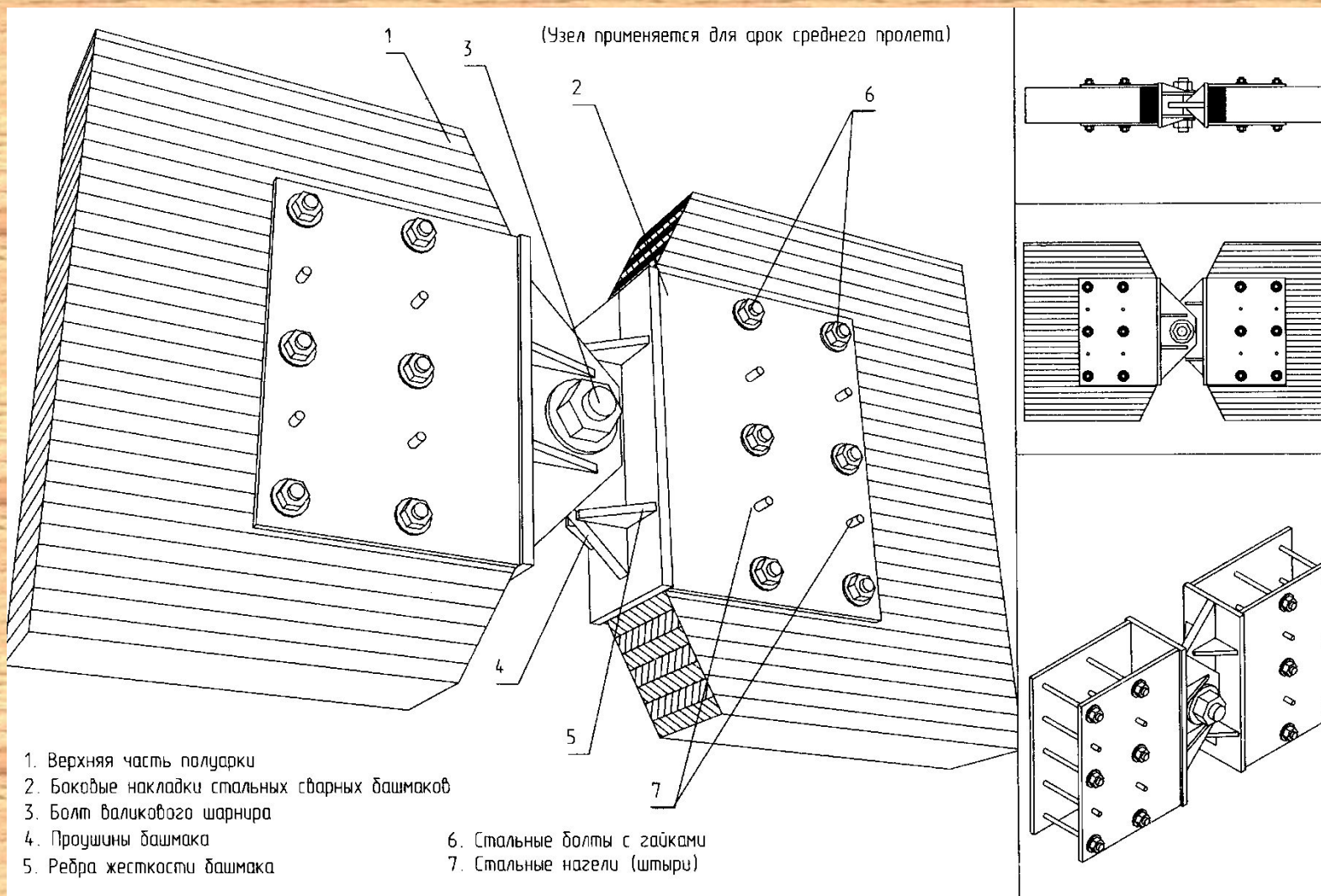


Плиточные шарниры

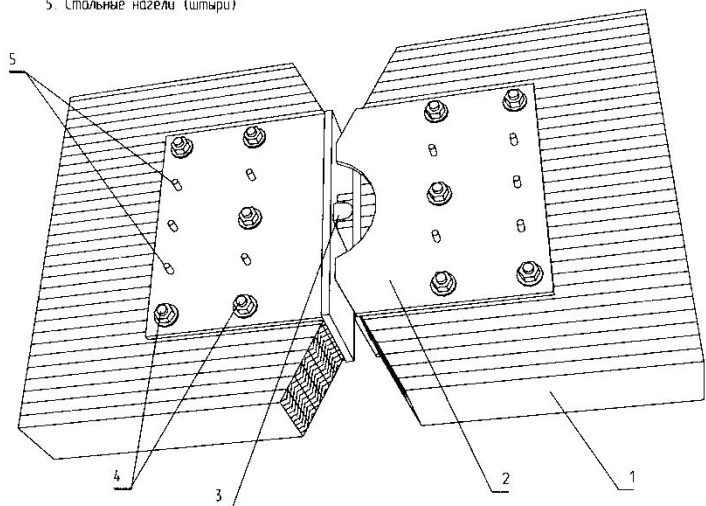


Способ соединения арок в коньке

- валиковый шарнир

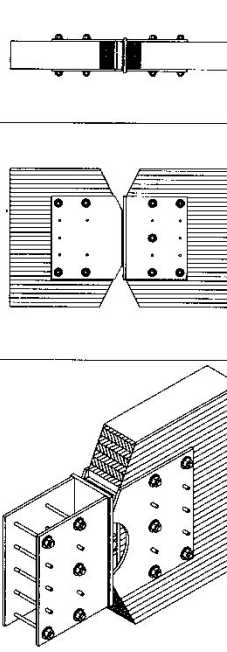


- 1 Верхняя часть полуарки
- 2 Боковые накладки стальных сварных башмаков (с условным вырезом)
- 3 Стальной плиточный шарнир
- 4 Стальные болты
- 5 Стальные нагели (штыри)



Этот узел применяется для арок большого пролета)

(Жесткость узла из плоскости следует обеспечивать постановкой связей)

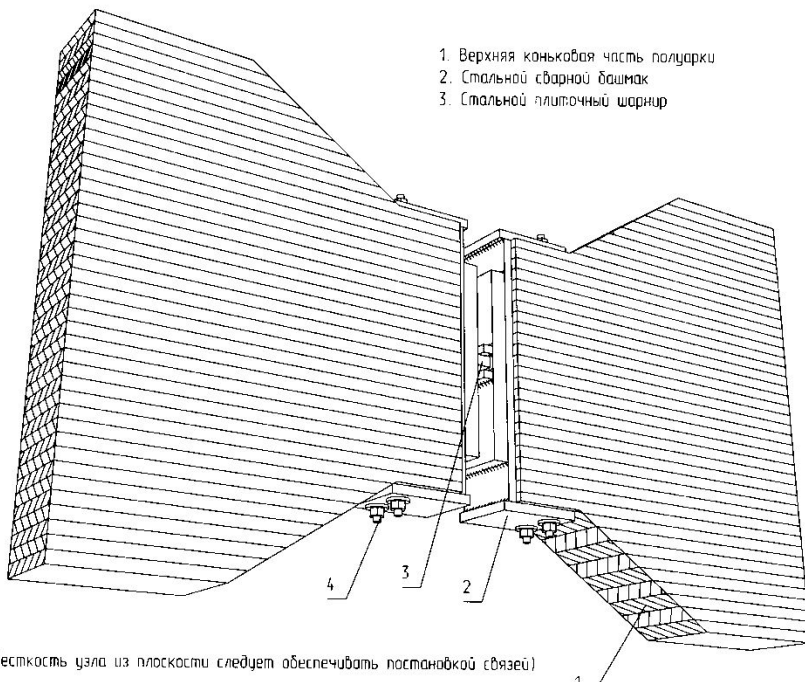


Способ соединения арок в коньке плиточный шарнир

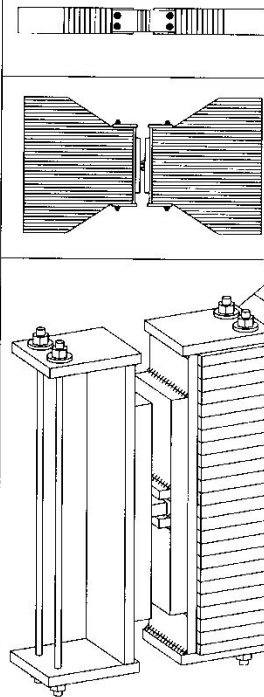
(Узел применяется для арок большого пролета)

(Вариант - 2)

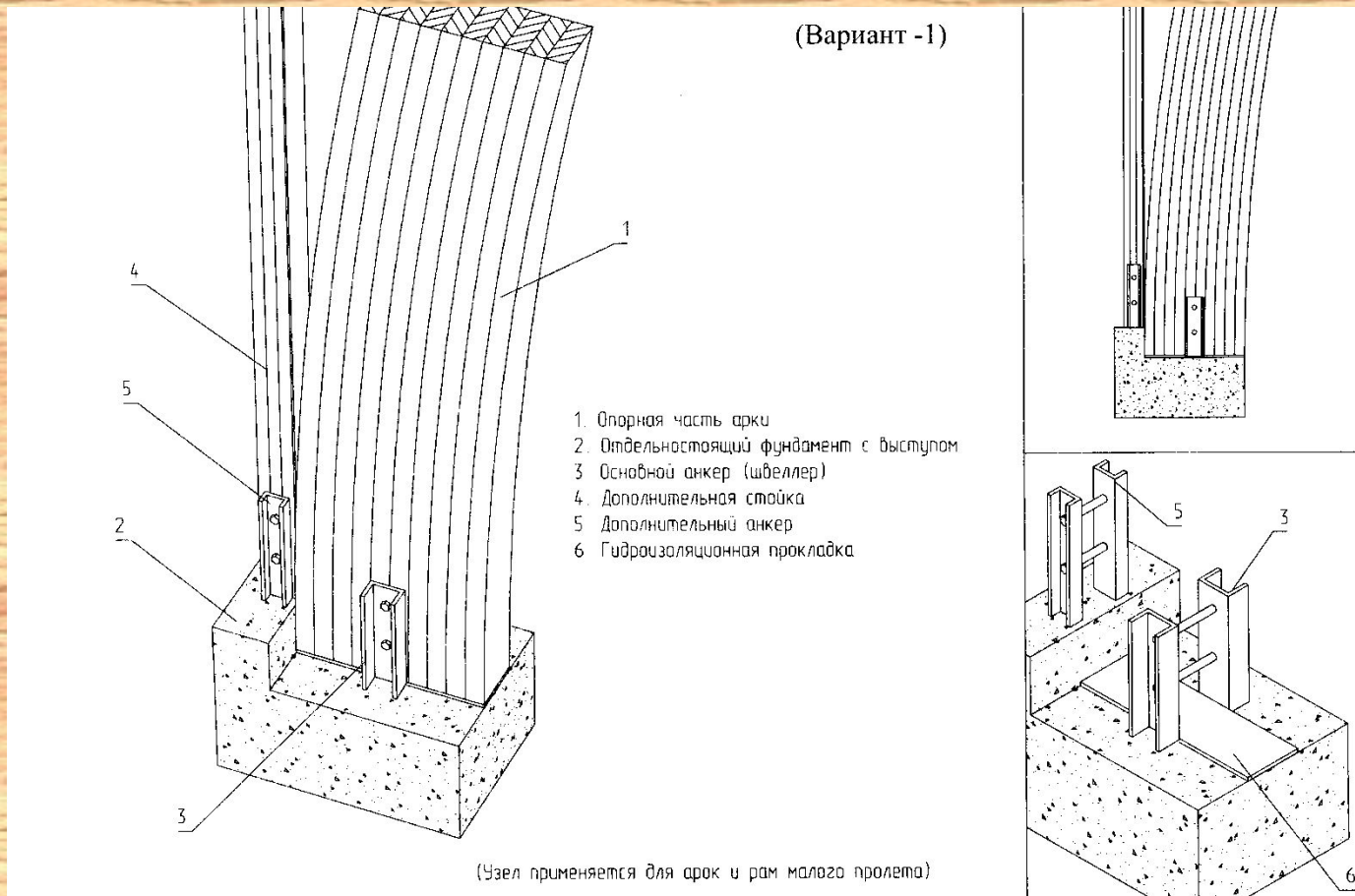
- 1 Верхняя коньковая часть полуарки
- 2 Стальной сварной башмак
- 3 Стальной плиточный шарнир



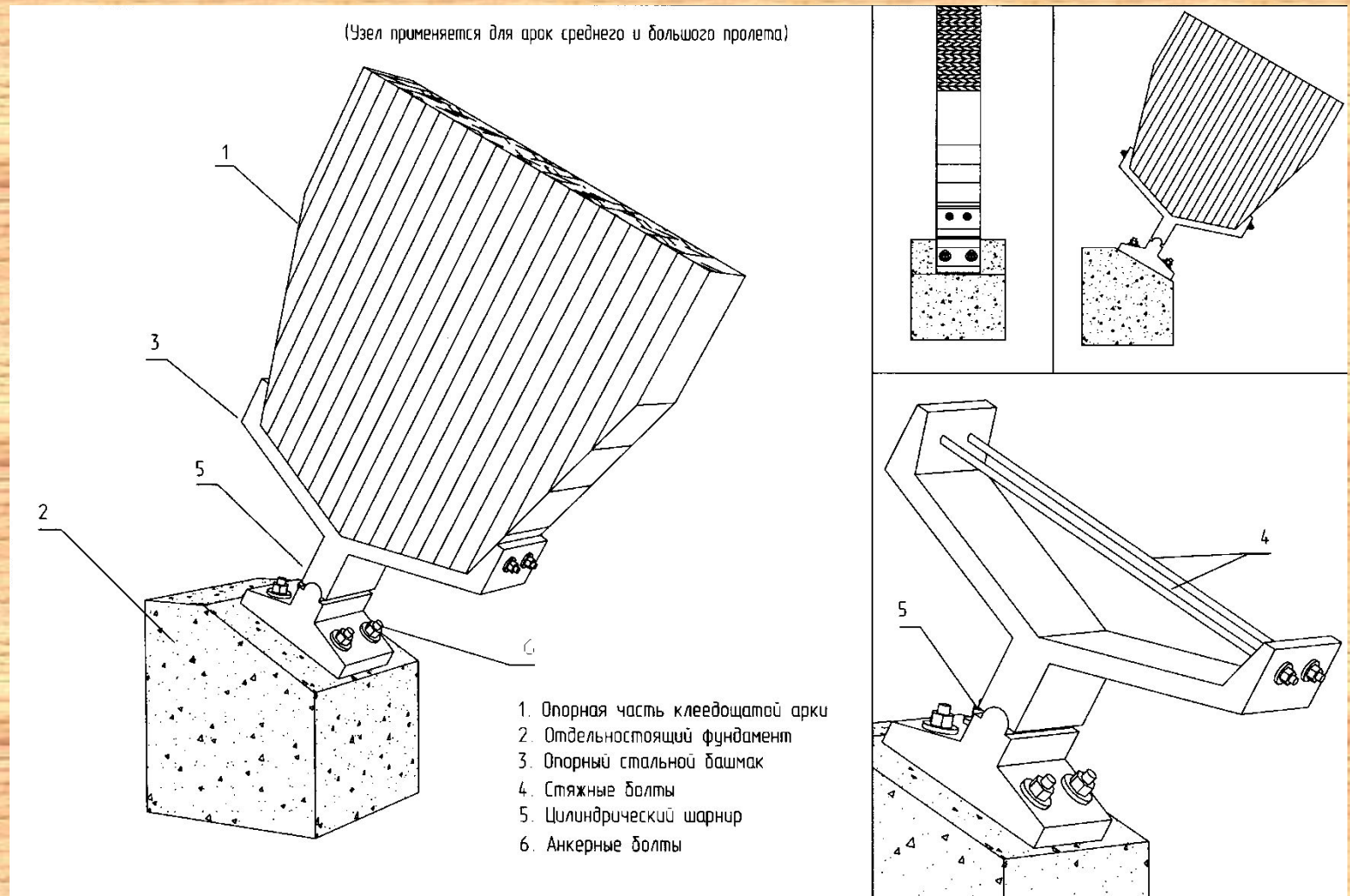
(Жесткость узла из плоскости следует обеспечивать постановкой связей)



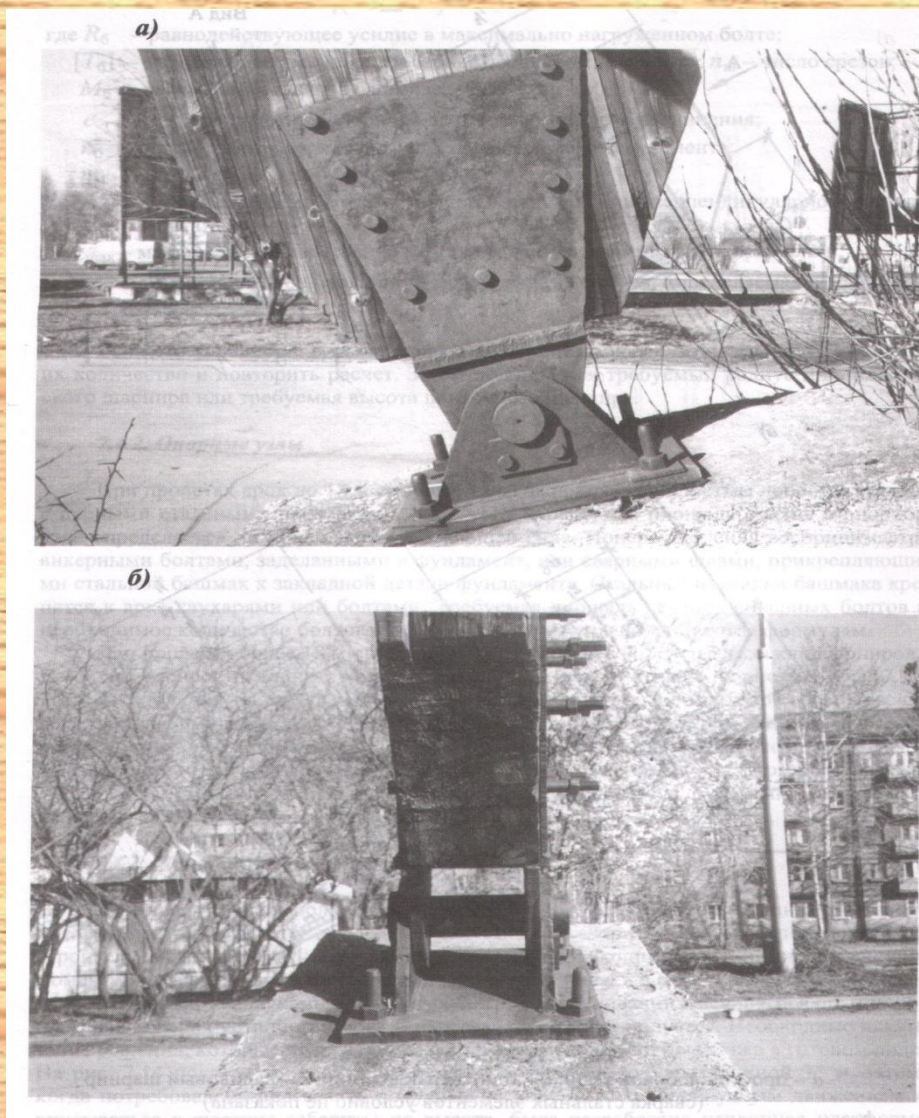
Опорные узлы клеедеревянных арок



Шарнирный узел опирания арки на фундамент

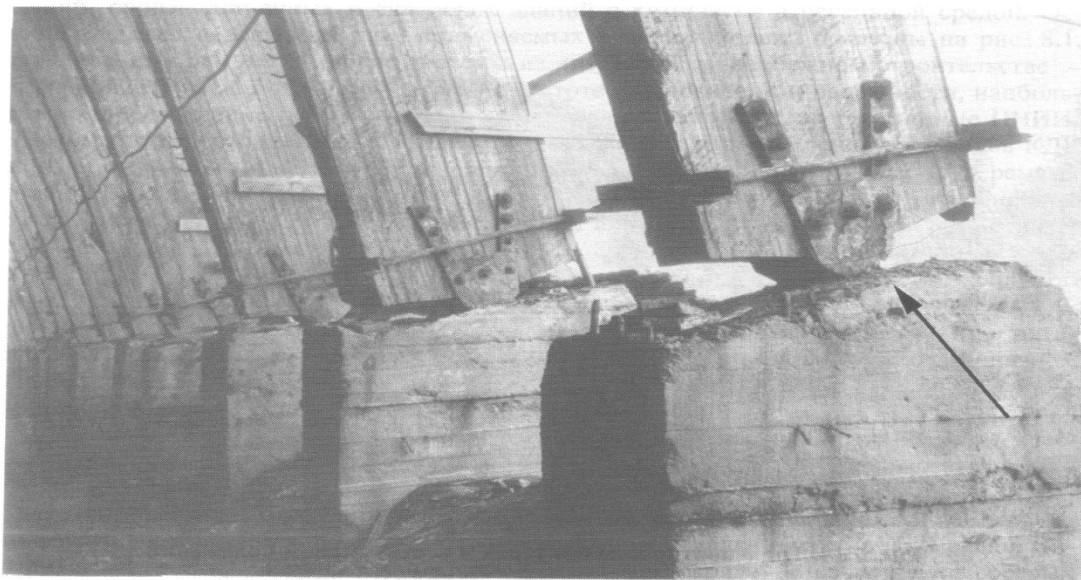


Опорный узел, выполненный валиковым шарниром

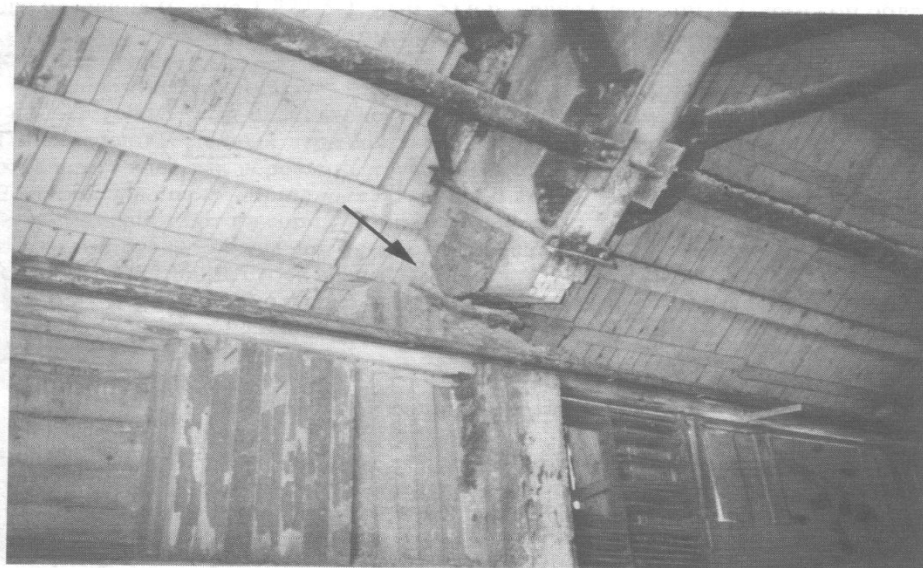


Опорный узел,
выполненный
плиточным
шарниром

a)



б)



Основные конструктивные требования

- Стрелу подъема пологих арок обычно принимают $1/5$ – $1/7$ от пролета.
- Сечение дощатоклееных арок небольшого пролета (до 18 м) рекомендуется принимать таким, чтобы отношение высоты поперечного сечения к ширине h/b не превышало 5. При большем значении отношения h/b необходимо выполнять расчет на устойчивость при изгибе и предусматривать конструктивные меры по обеспечению устойчивости поперечного сечения.

Основные конструктивные требования

- В элементах арок из многослойной клееной древесины допускается сочетать древесину двух классов
- В криволинейных элементах арок, изготовленных из многослойной клееной древесины, толщина досок не должна превышать **36 мм**, но не более **$250r$** (r — радиус кривизны).



2. Рамы.

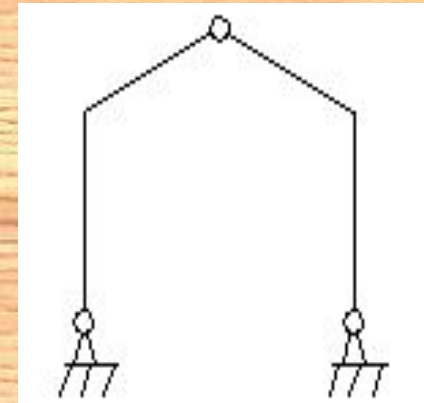
Конструктивные решения

по статическим схемам:

- **Трехшарнирные** - статически определимые;
- **Двухшарнирные** - однократно статически неопределимые - *Стойечно-балочная система.*

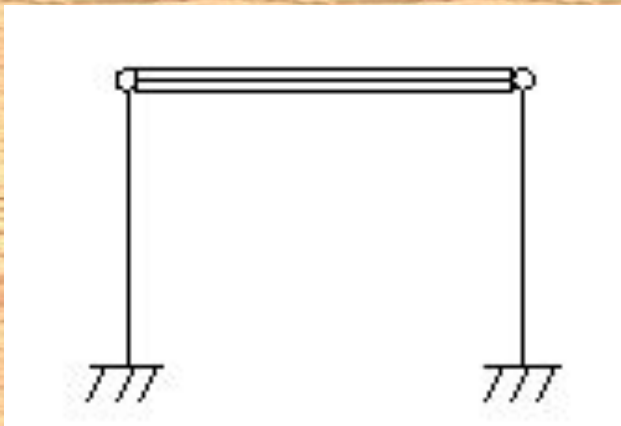
Трехшарнирная рама

- **Преимущество:**
 - независимость действующих в ее сечениях усилий от осадки фундаментов;
 - относительная простота решений шарнирных опорных узлов.
- **Недостатки:**
 - Возникновение больших изгибающих моментов в карнизных сечениях или узлах.

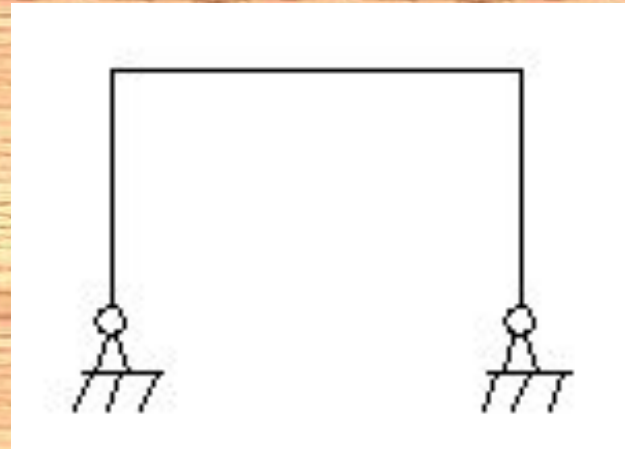


Двухшарнирные рамы

- *с жесткими опорными узлами*



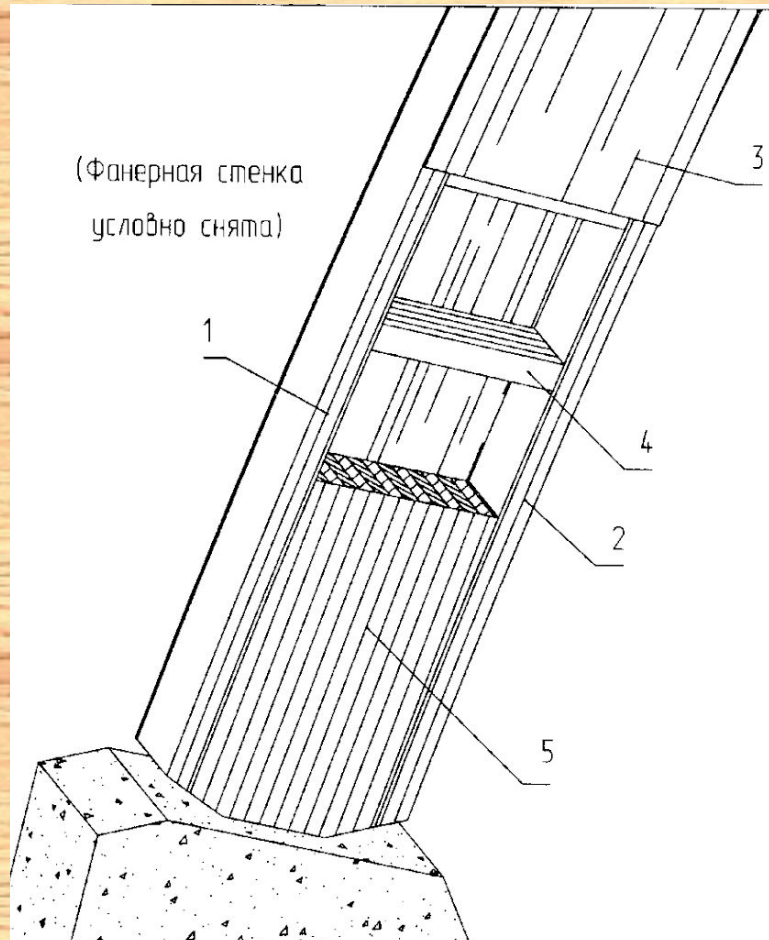
- *с шарнирными опорными узлами*



Классификация по применяемым материалам

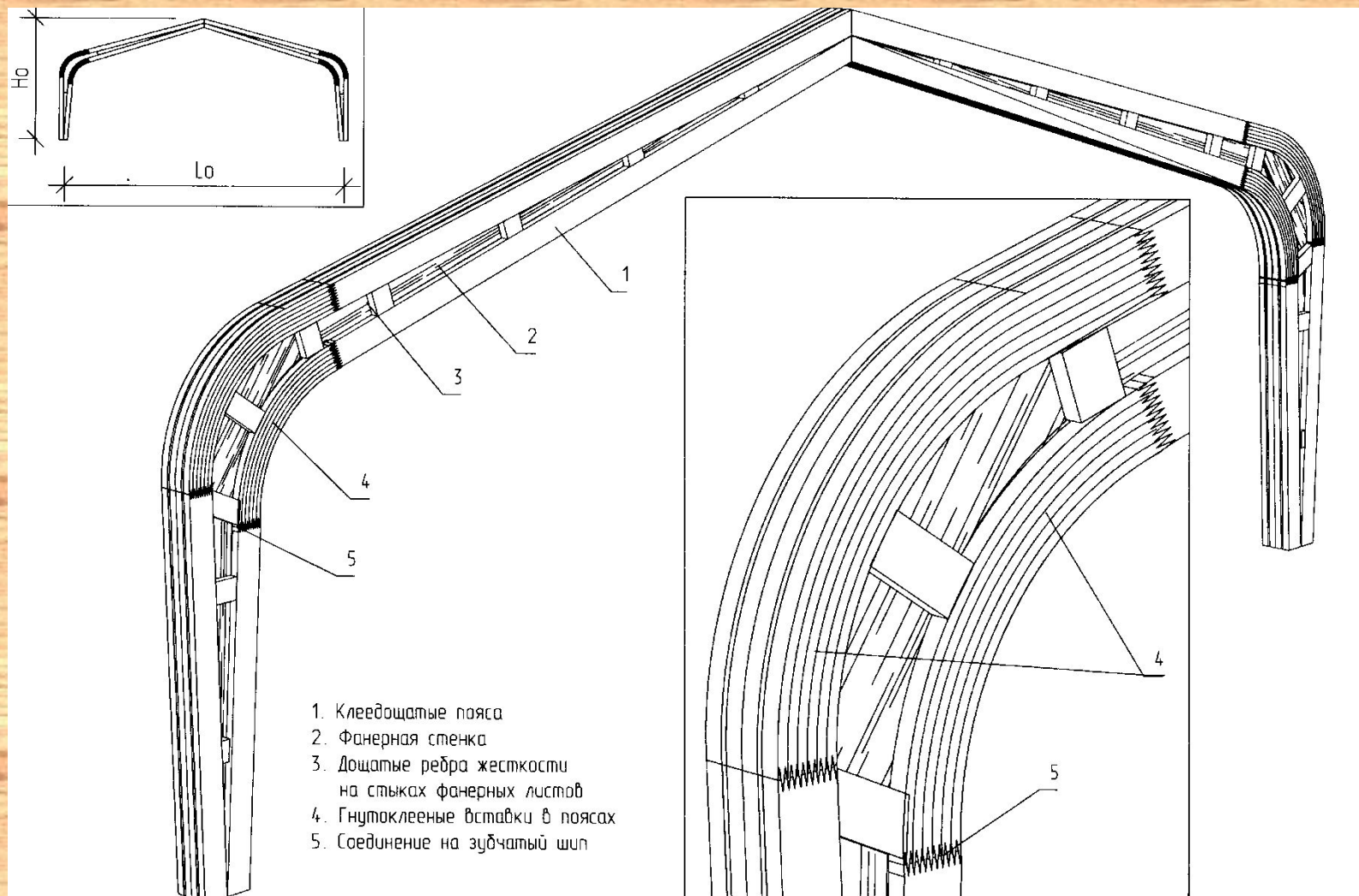
- **цельнодеревянные**
- **клеефанерные**
- **клеедеревянные**

Рамы коробчатого сечения с плоской стенкой

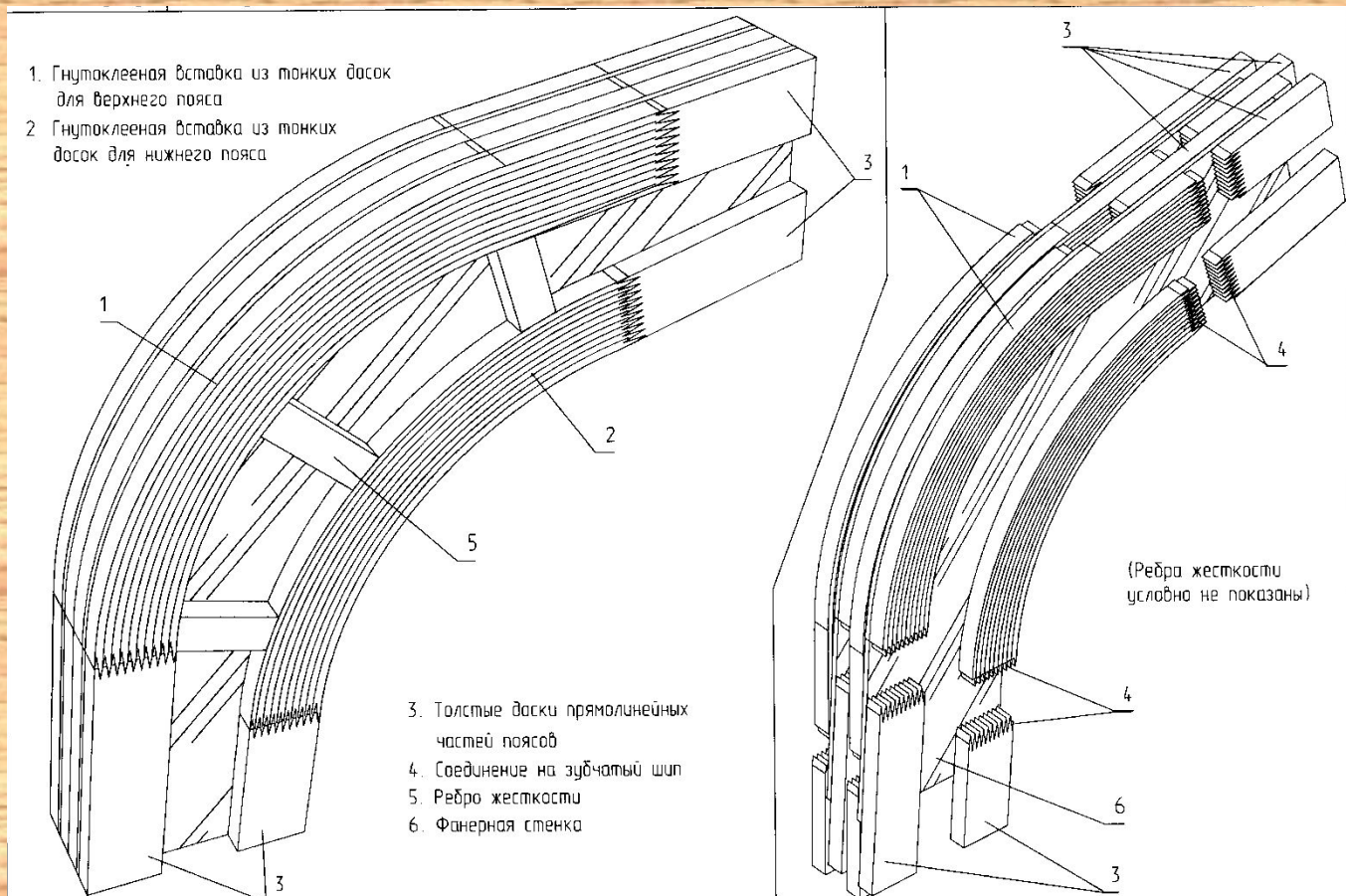


- 1 – наружный гнутоклееный пояс;**
- 2 – внутренний гнутоклееный пояс;**
- 3 – фанерная стенка;**
- 4 – ребра жесткости на стыках фанерных листов;**
- 5 – дощатоклееный вкладыш**

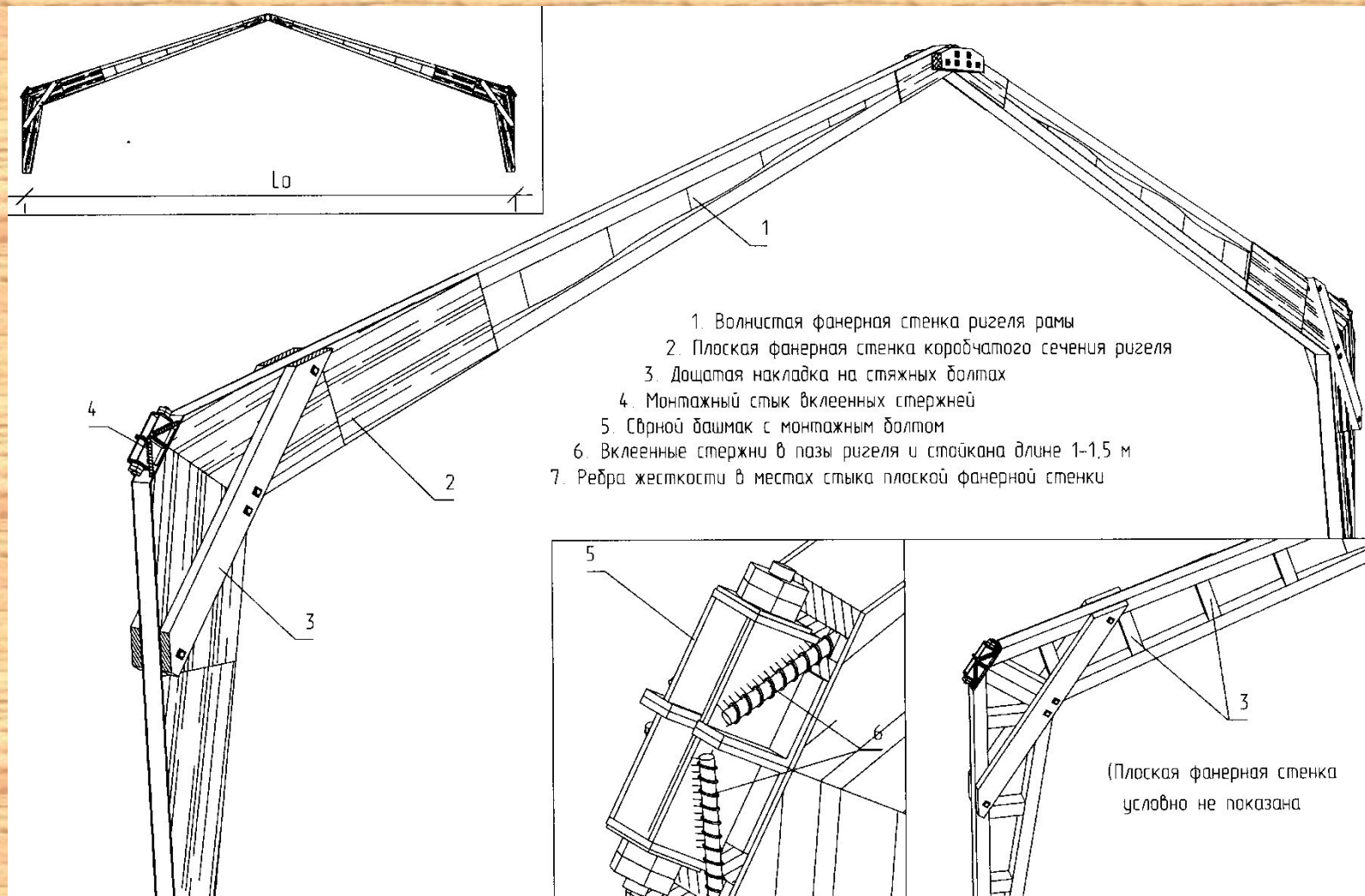
Клеефанерная рама двутаврового сечения



Клеефанерные рамы

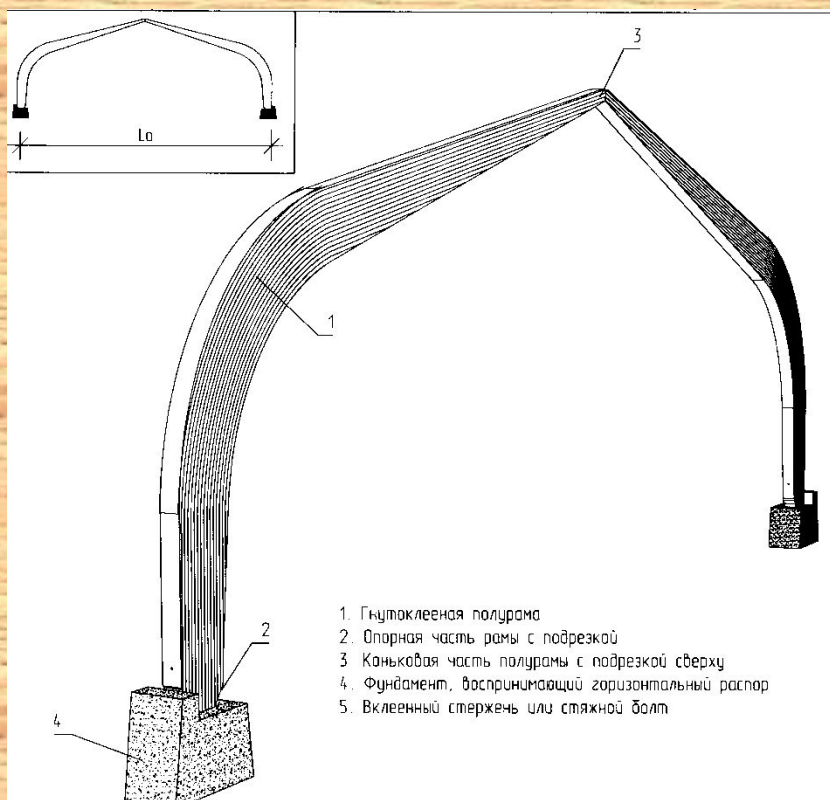


Сборная рама на вклеенных стержнях в карнизном узле и волнистой стенкой



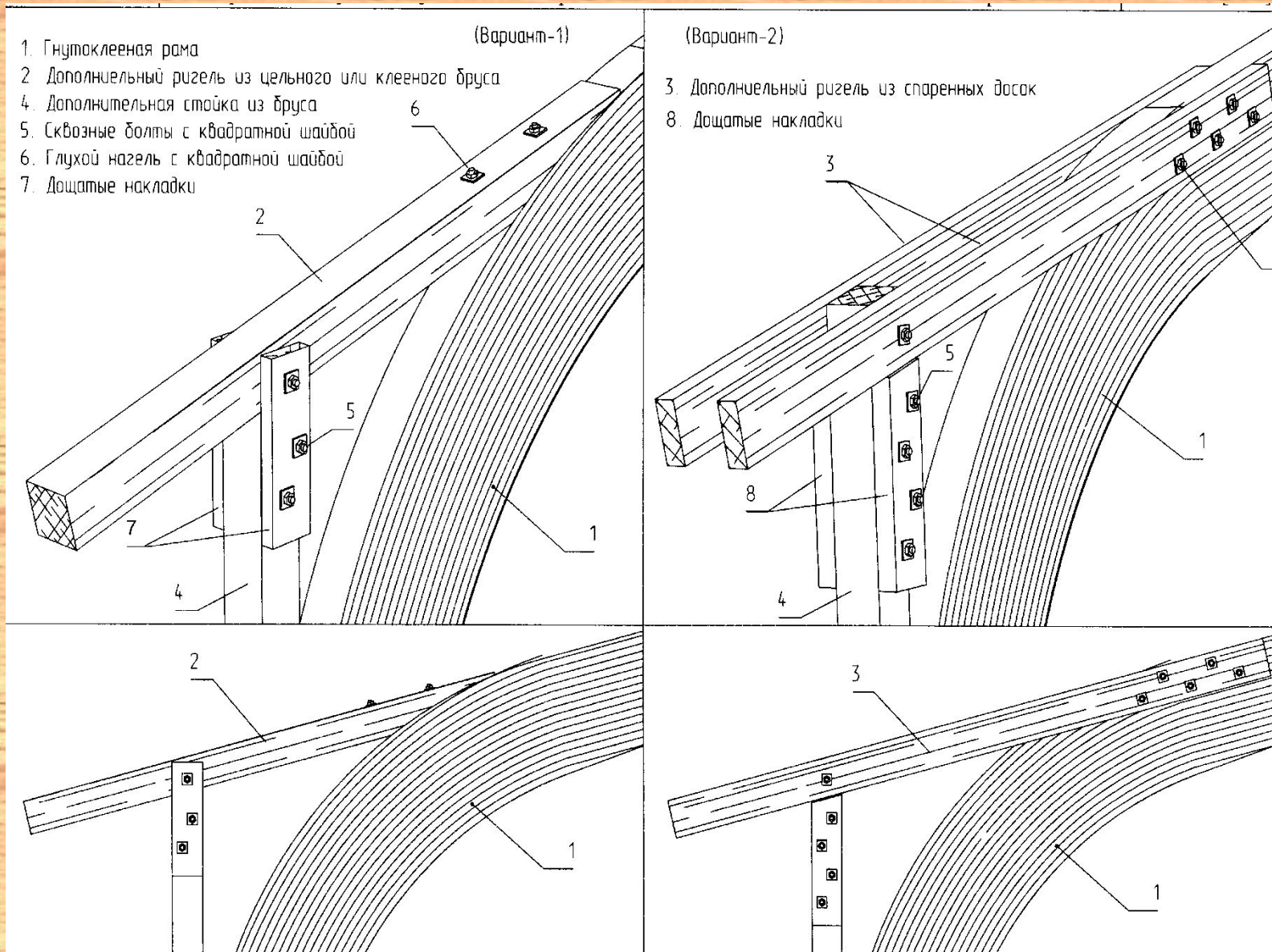
Клеедеревянные рамы

• Гнутоклееная рама **Достоинства:**

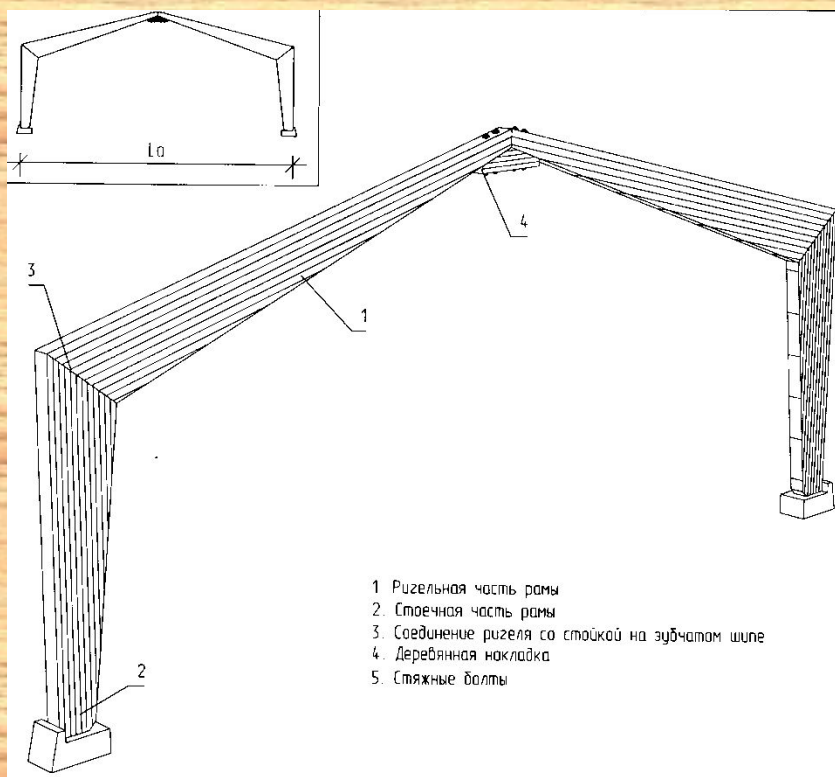


- экономия времени и трудоемкости при сборке и установке;
- позволяет экономить древесину и рационально использовать ее прочность.

Карнизные узлы

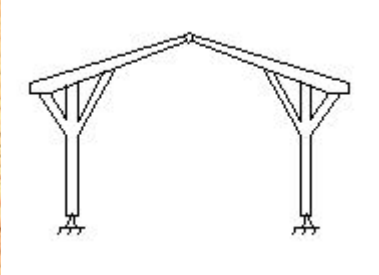


Ломаноклееная рама



- *Достоинства:*
- малотрудоемкая при монтаже.
- простота и малая трудоемкостью при изготовлении.
- не требуется дополнительных элементов для опирания настилов в карнизных узлах.

Четырехподкосная рама

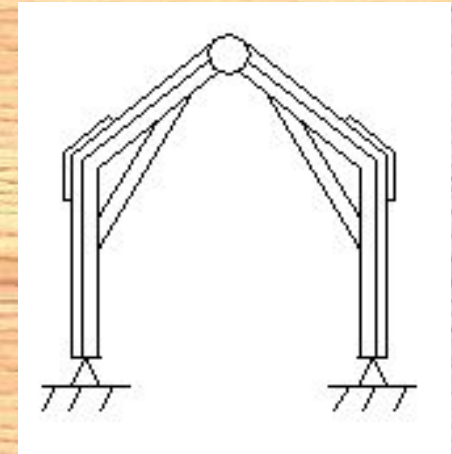


- **Достоинства:**
- проста в изготовлении;
- без затруднения может транспортироваться любым видом транспорта.
- **Недостатки:**
- повышенная трудоемкость изготовления и сборки.
- подкосы также сокращают свободное пространство помещений

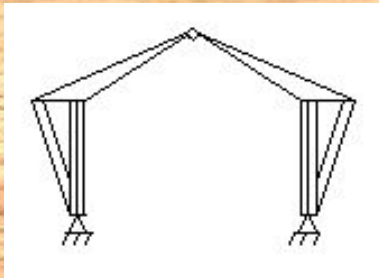
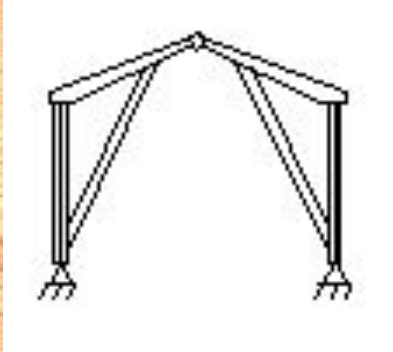
Двухподкосная рама

Недостатки:

- наличие значительных растягивающих усилий в карнизных узлах;
- изгибающие моменты в стойках и ригелях этой рамы значительно больше, чем в рамах с парными подкосами.
- подкосы уменьшают пространство.



Рамы с опорными подкосами наружными и внутренними

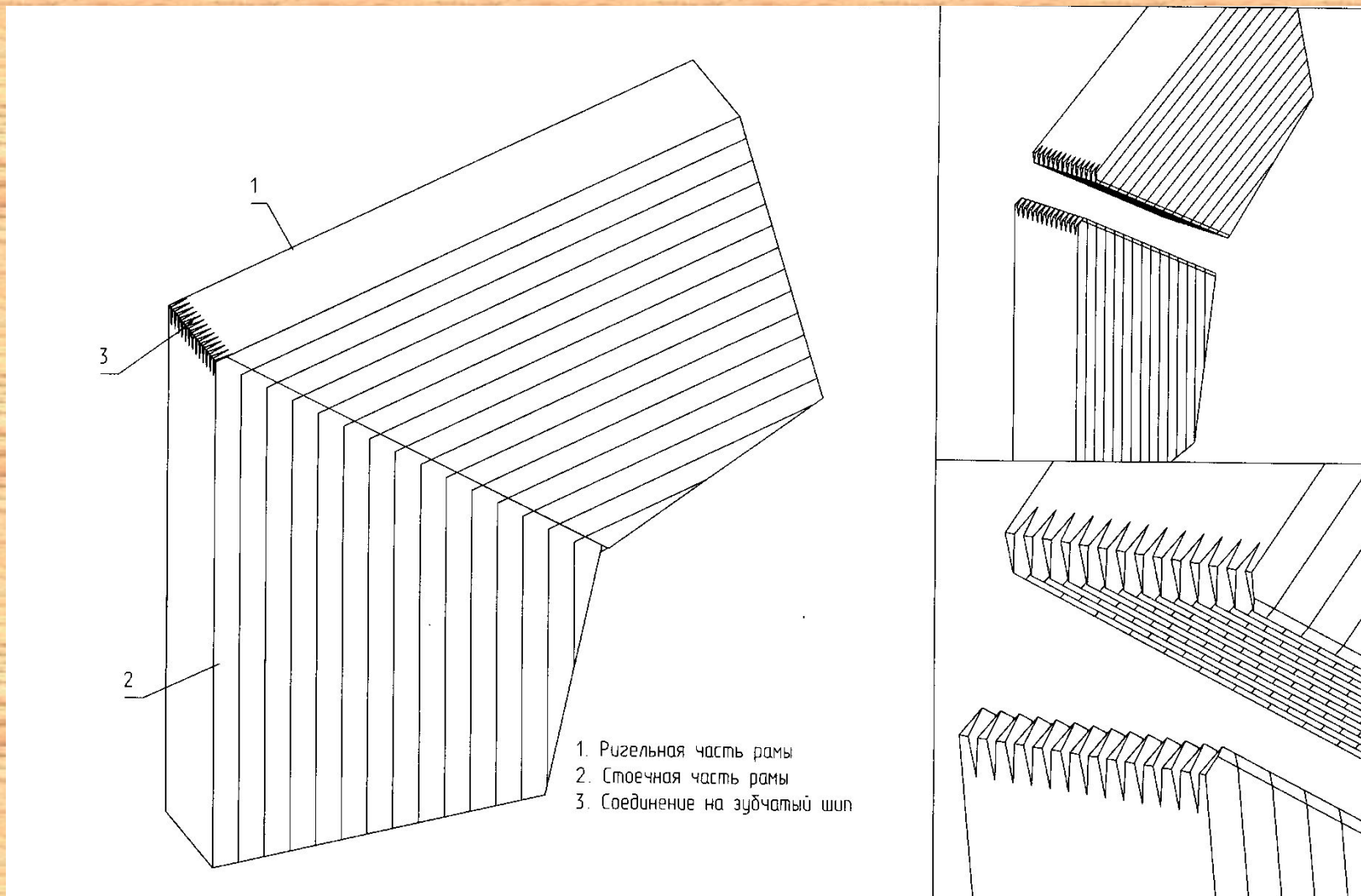


Недостатки:

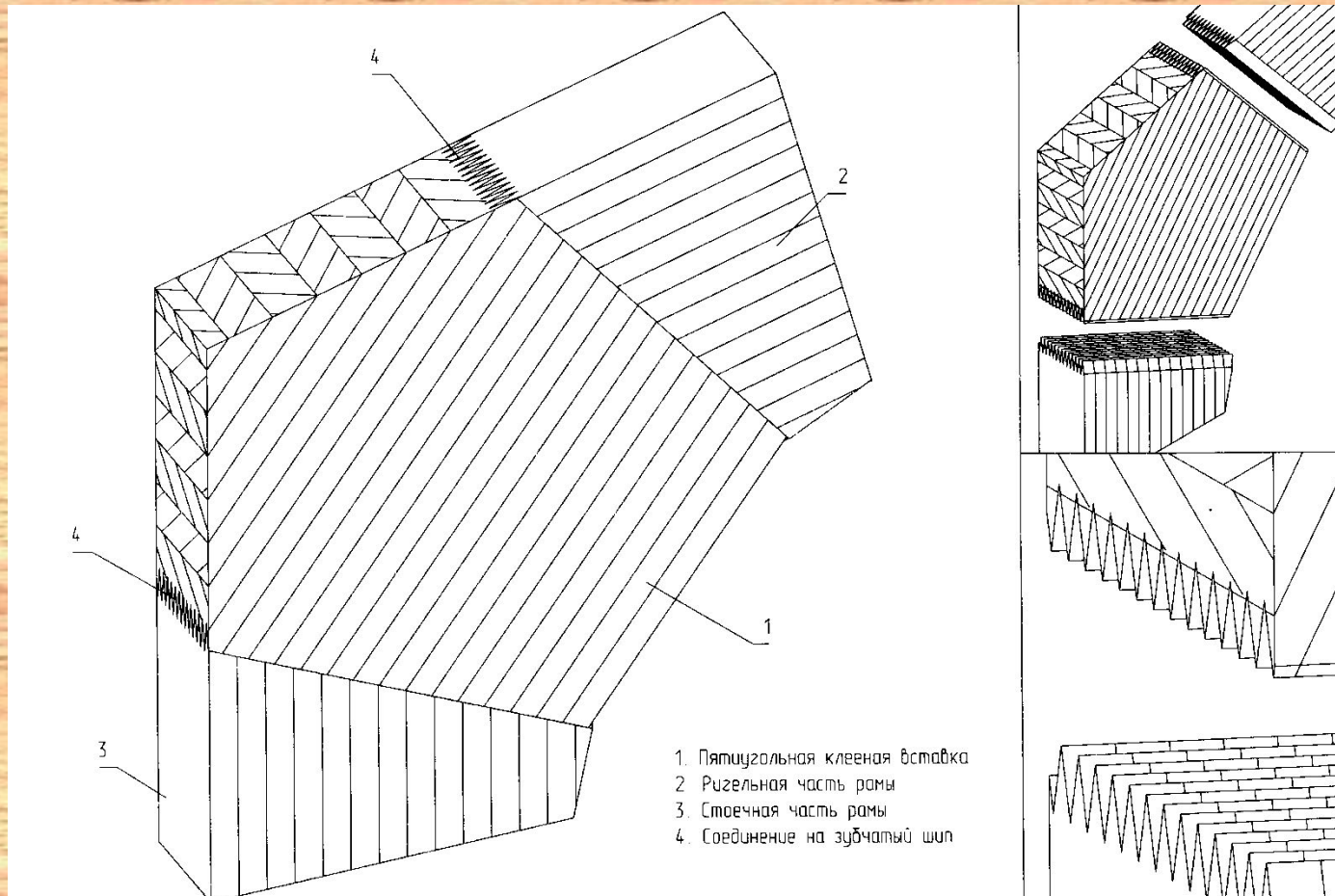
- *усложненные конструкции узловых креплений стоек;*
- *значительная длина сжатых подкосов*

Карнизные узлы рам

Зубчатое соединение

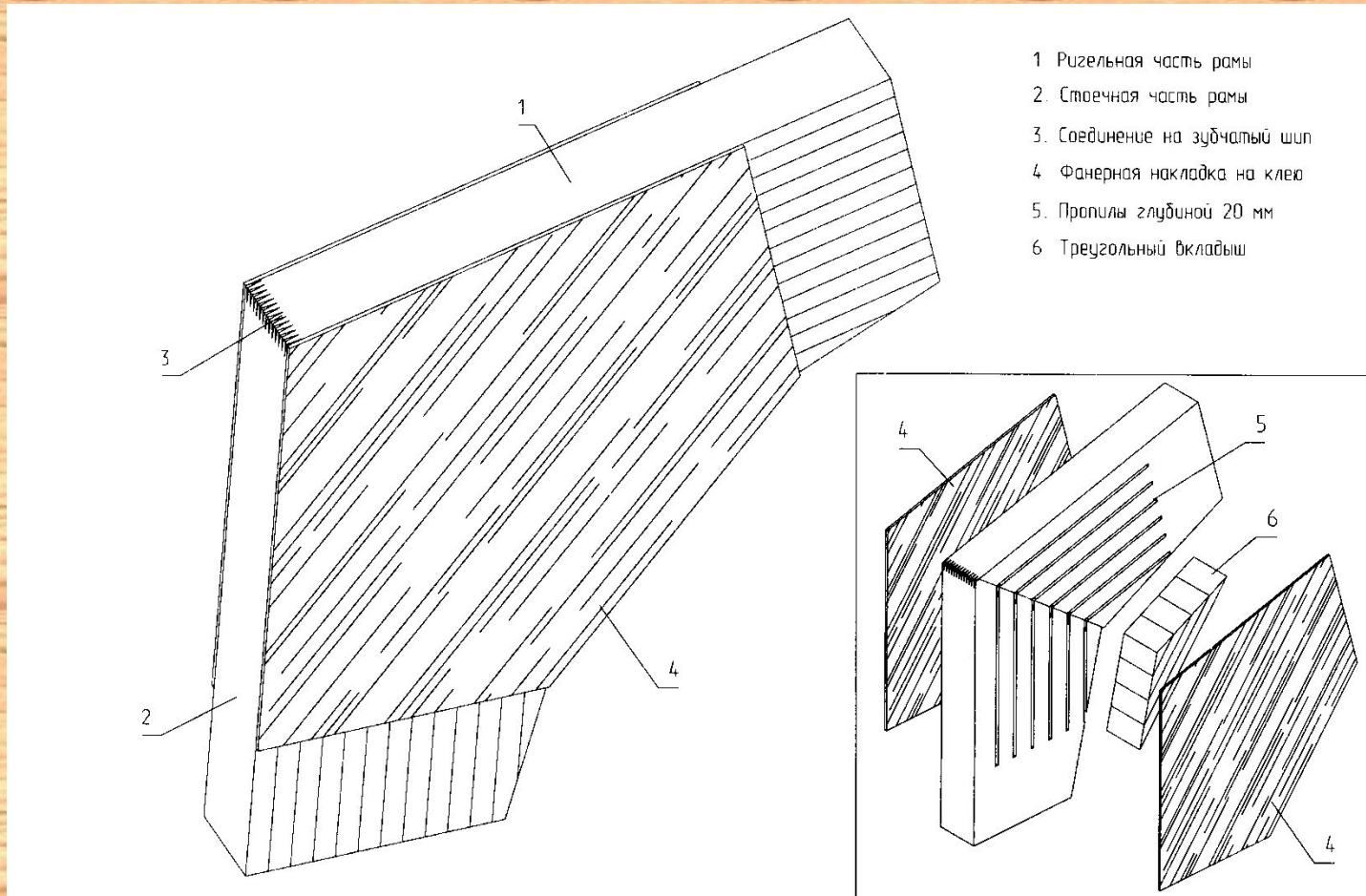


Карнизные узлы рам



Узел с 5-угольной вставкой

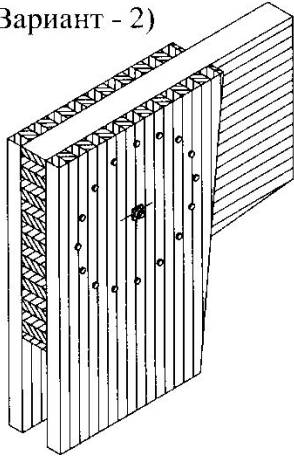
Карнизные узлы рам



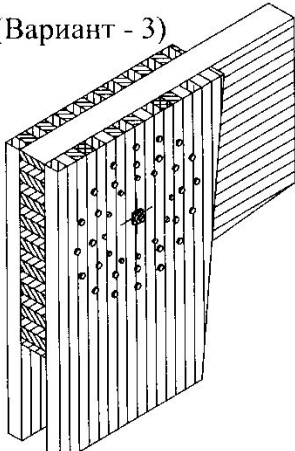
Узел с зубчатым соединением и фанерными накладками

Соединение на нагелях по кругу

(Вариант - 2)

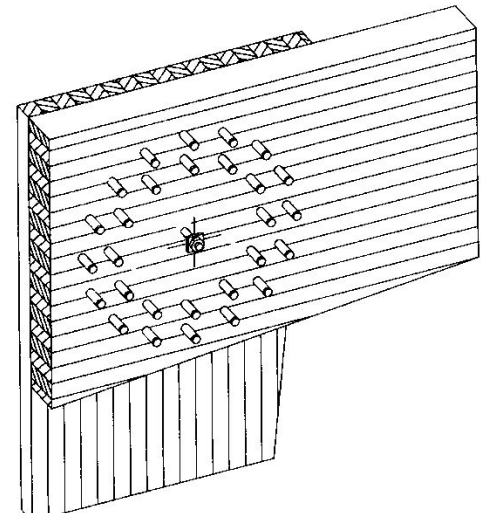
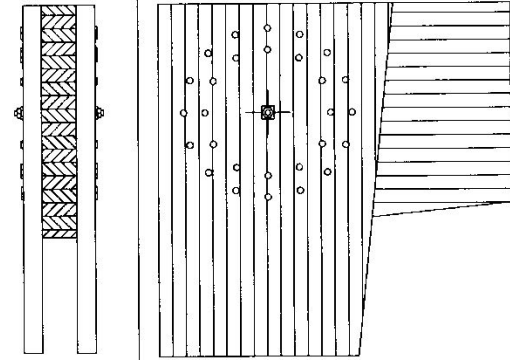
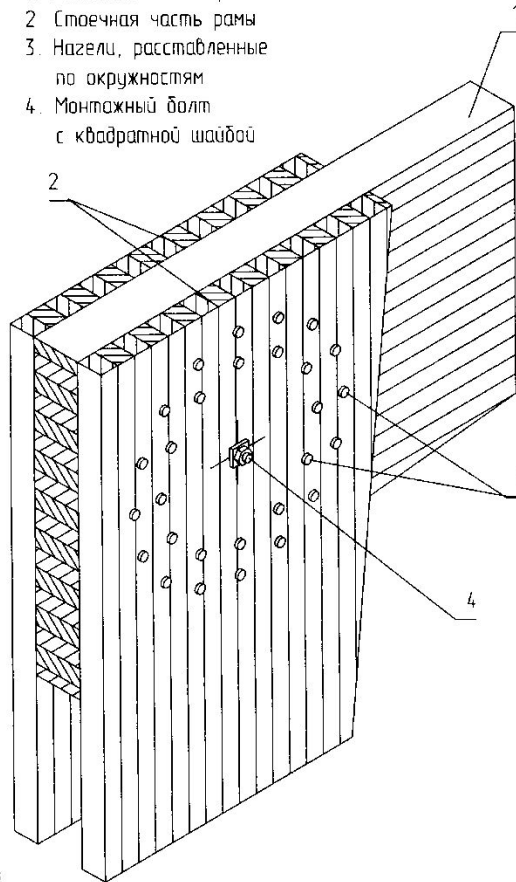


(Вариант - 3)



(Вариант - 1)

1. Ригельная часть рамы
2. Стоечная часть рамы
3. Нагели, расставленные по окружностям
4. Монтажный болт с квадратной шайбой



Конструктивные требования

- высота поперечных сечений в зоне карнизных узлов — $h_1 = (1/20 - 1/30)l$,
- у коньковых узлов — $h_2 = (0,2 - 0,3) h_1$,
- у опорных узлов стоек — $h_3 = 0,4h_1$.
- отношение максимальной высоты к ширине поперечного сечения в рамах h_1/b = может приниматься 4–8.

14.3. Расчет арок и рам

ТКП 45-5.05-275-2012

нагрузки

- **Постоянные**

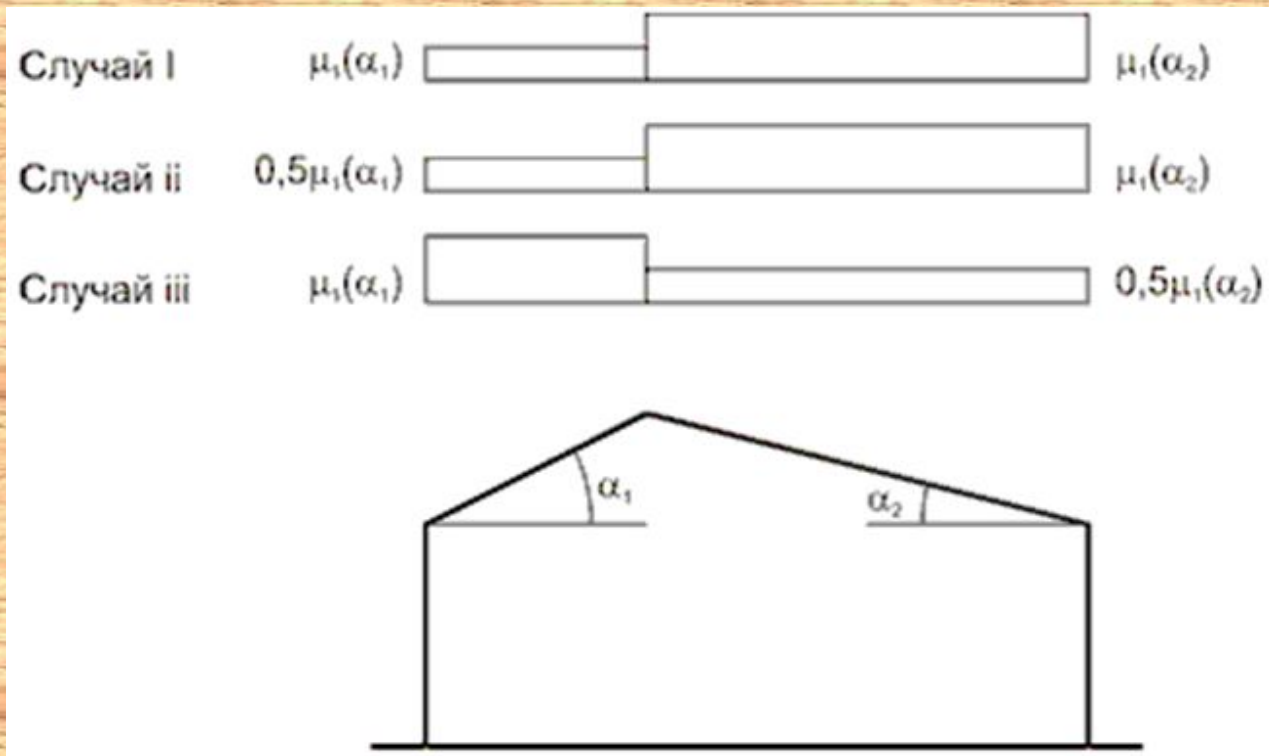
- Вес покрытия;
- Собственный вес

$$g_{2,k} = \frac{g_{1,k} + q_{s,k}}{1000} - 1$$
$$k_{s.w} \cdot L$$

переменные:

- **Среднесрочная –
снеговая нагрузка**
- **Кратковременная –
ветровая нагрузка**

Снеговая нагрузка

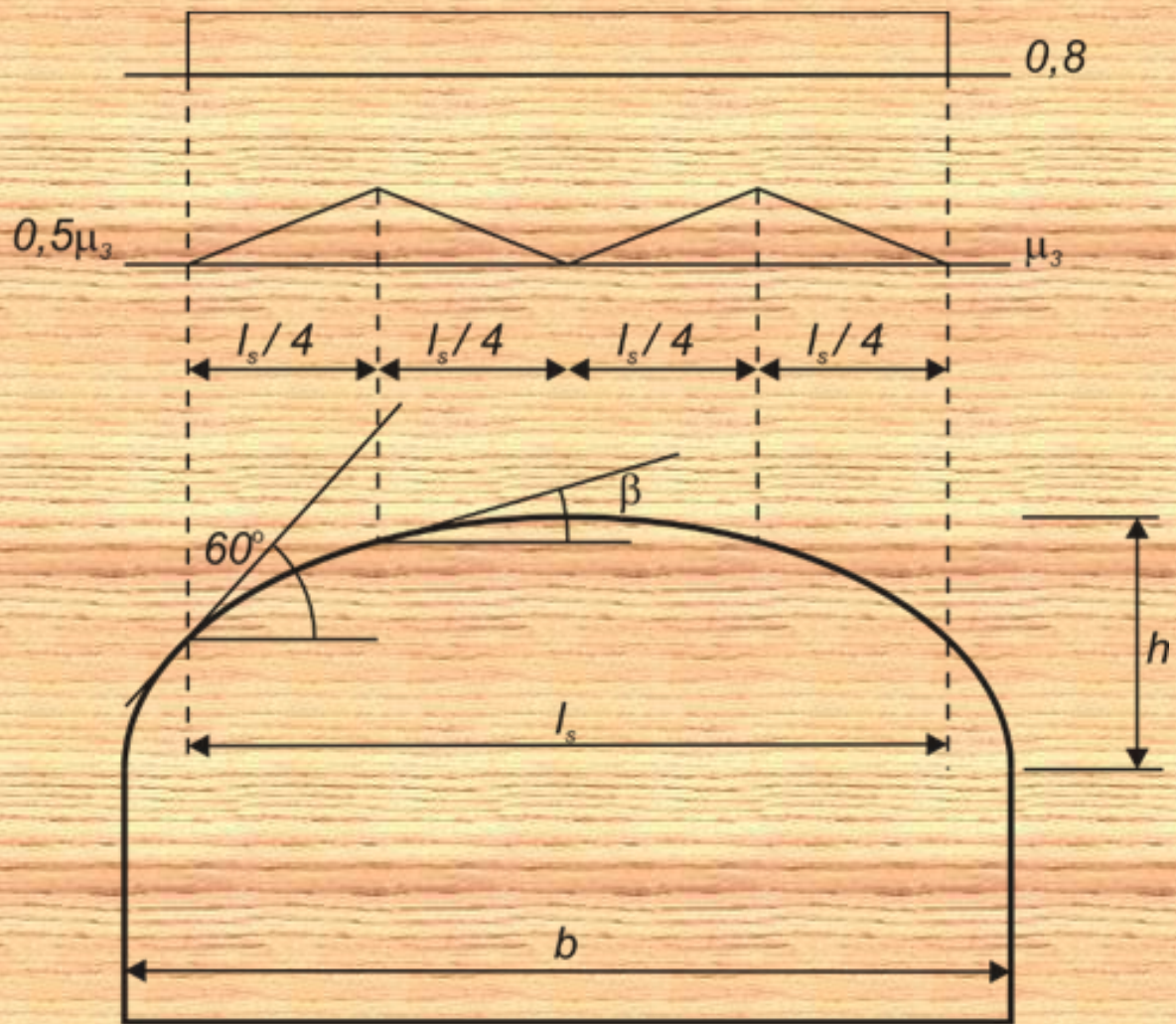


случай I - без учета заноса снега

случай II и случай III - схема распределения снеговых нагрузок с учетом заноса снега

Случай I

Случай II



Схемы нагружения (сочетание нагрузок):

$$\sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

$$1,35 \cdot (G_{k,1} + G_{k,2}) \rightarrow E_1,$$

$$1,35 \cdot (G_{k,1} + G_{k,2}) + 1,5Q_{k,1} \rightarrow E_2,$$

$$1,35 \cdot (G_{k,1} + G_{k,2}) + 1,5Q_{k,2} \rightarrow E_3,$$

$$1,35 \cdot (G_{k,1} + G_{k,2}) + 1,5Q_{k,1} + 1,5\psi_{0,2}Q_{k,2} \rightarrow E_4,$$

$$1,35 \cdot (G_{k,1} + G_{k,2}) + 1,5Q_{k,2} + 1,5\psi_{0,1}Q_{k,1} \rightarrow E_5.$$

$$\psi_0 = 0,6$$

- для снеговых и ветровых нагрузок (таблица 5.2 ТКП 45-5.05-275-2012)

Расчет арок и рам

- сжато-изгибаемые элементы
 - потеря устойчивости в поперечном направлении (потеря устойчивости плоской формы деформирования)
 - потеря несущей способности в плоскости работы

- Если для сжато-изгибаемых элементов из-за изгиба относительно главной оси $y - y$ потеря устойчивости в поперечном направлении (потеря устойчивости плоской формы деформирования) не произойдет, то относительная (приведенная) гибкость при изгибе относительно главной оси $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}}$$

критическое напряжение изгиба (прочность при продольном изгибе).

критическое напряжение изгиба (прочность при продольном изгибе)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y}$$

При расчете элементов прямоугольного сечения, изготовленных **многослойной клееной древесины**, формула может быть записана следующим образом:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2}{hl_{ef}} \cdot \sqrt{E_{0.05} G_{0.05} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h}\right)}$$

при условии, что потери устойчивости плоской формы деформирования не произойдет

относительная гибкость λ_{rel}

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} \quad \lambda = \frac{L_e}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$
$$\lambda_y = \frac{L_{e.y}}{i} = \frac{L_{e.y}}{\frac{h}{\sqrt{12}}} \quad \lambda_z = \frac{L_{e.z}}{i} = \frac{L_{e.z}}{\frac{b}{\sqrt{12}}}$$

при $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$

$\lambda_{rel,y} > 0,3$ или $\lambda_{rel,z} > 0,3$

- Сопротивление элемента на сжатие

- сопротивление элемента на сжатие, умноженной на соответствующий коэффициент продольного изгиба $k_{s,y}$ или $k_{s,z}$

$$\lambda_{rel.v} \leq 0,3$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.$$

$$\lambda_{rel.v} > 0,3$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.$$

В случае, когда нагружение элемента происходит вдоль оси с изгибом относительно главной оси у-у

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1.$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1.$$

Для элемента, воспринимающего совместное действие только изгибающего момента M у относительно главной оси u - u и продольной сжимающей силы N_s , напряжения должны удовлетворять условию

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1.$$