

1. НАГЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

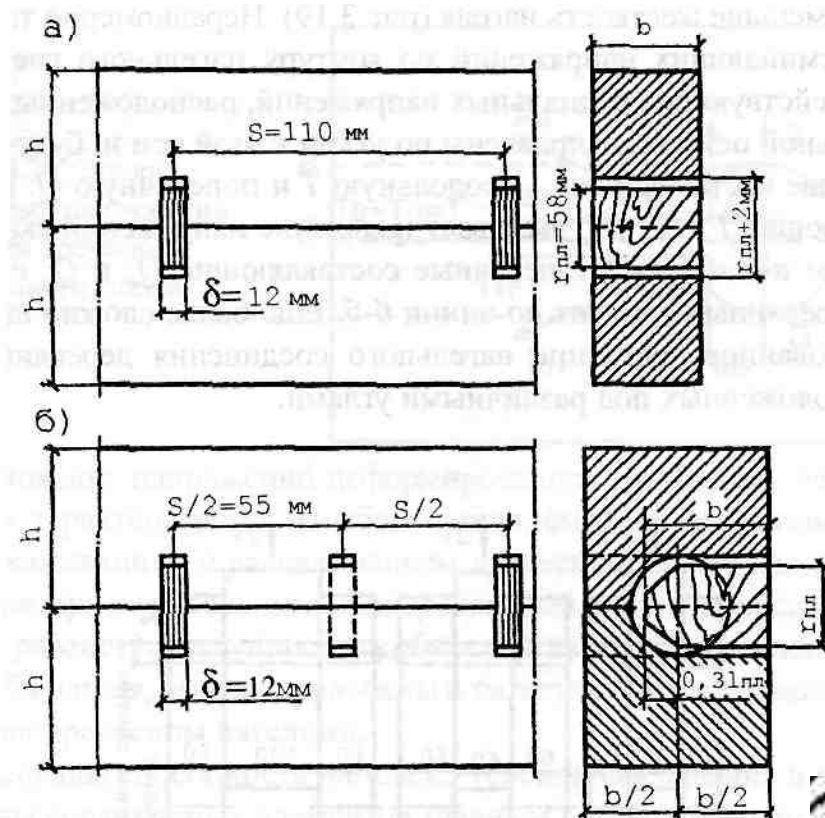
ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Нагельные соединения
 - 1.1. Пластинчатые нагели
 - 1.2. Цилиндрические нагели
 - 1.3. Расчет стальных цилиндрических нагелей
 - 1.4. Гвоздевые соединения
 - 1.5. Металлические зубчатые пластины (МЗП)

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ:

1. Основы закономерности длительной прочности древесины и пластмасс
2. Сравнение методик расчета болтовых соединений металлических конструкций и нагельных соединений деревянных конструкций
3. Применение металлических зубчатых пластин в зарубежном строительстве

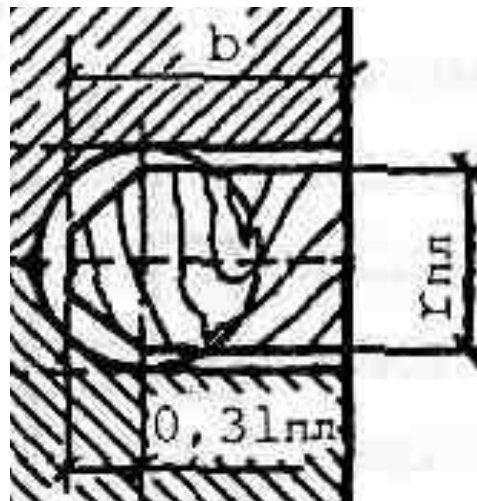
1.1. ПЛАСТИНЧАТЫЕ НАГЕЛИ



Применяют для сплачивания 2-х – 3-х брусьев по высоте. Изготавливают из твердых пород древесины – дуба, березы. Направление волокон в пластинке должно быть перпендикулярно плоскости сплачивания.

Расчетная несущая способность одного нагеля:

$$T = 0,75 \cdot b_{пл} \quad (\text{кН})$$



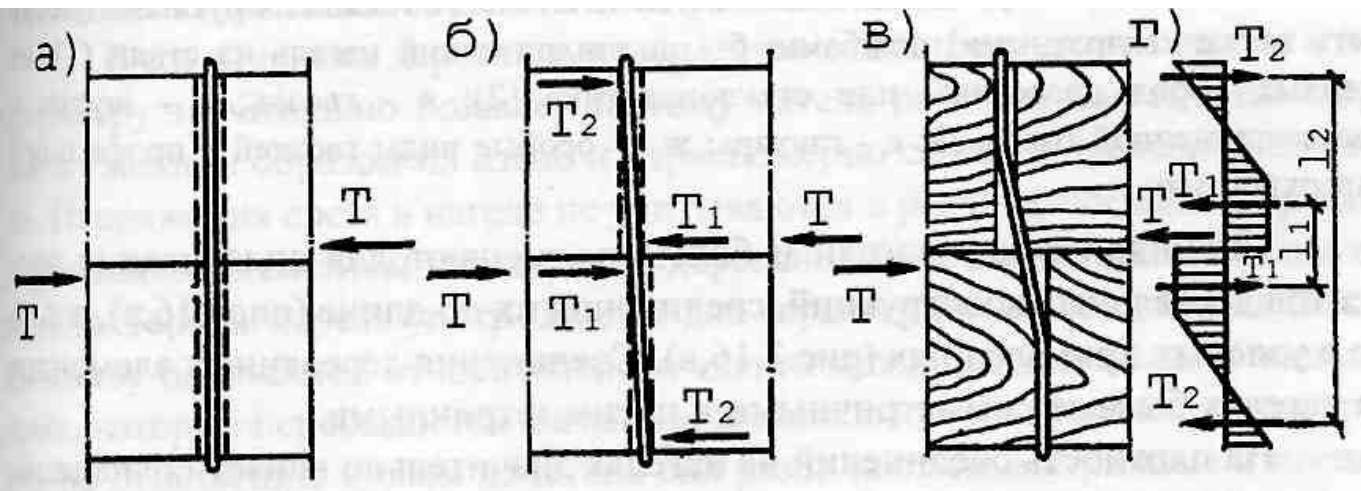
$b_{пл}$ - ширина пластинчатого нагеля в см, равна ширине бруса b при сквозных нагелях и $0,5 b$ – при глухих.

1.2. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ НАГЕЛИ

Нагель – гибкий стержень (пластина), соединяющий деревянные элементы и препятствующий их взаимному сдвигу, а сам в основном работающий на изгиб.

Цилиндрические нагели из стали, твердых пород дерева, пластмасс $\geq \text{Ø}12 \text{ мм}$.

Схема работы нагельного соединения



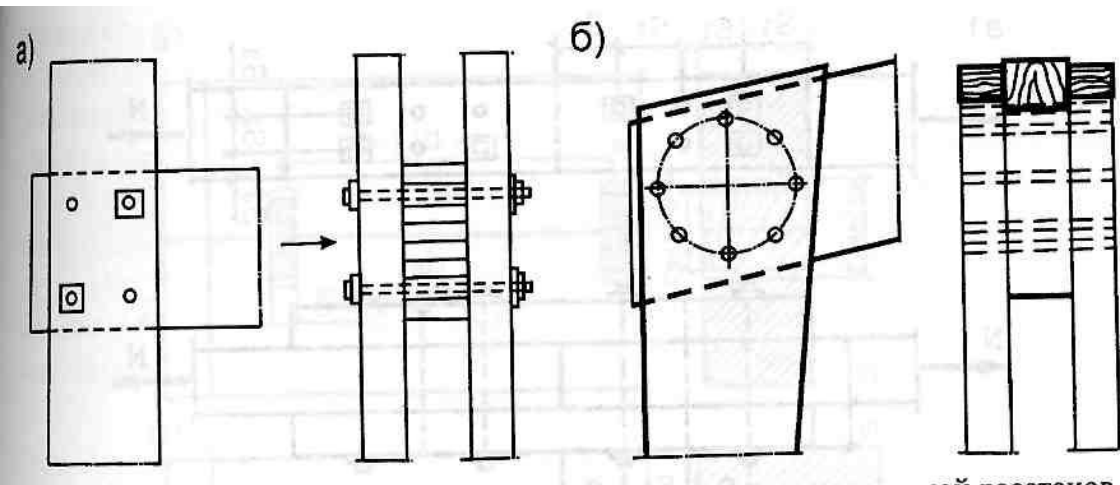
К цилиндрическим нагелям относятся шпильки и болты, под которые сверлят отверстия диаметром равным диаметру шпильки, болта.

Под нагели сверлят отверстия равного диаметра $d_{отв} = d_n$

Большое значение на работу нагельных соединений оказывает точность совпадения отверстий в элементах. Для обеспечения последнего пакет до сверления должен быть обжат. С этой целью 25% от общего количества нагелей заменяют болтами.

В растянутых элементах нагели по ширине следует ставить только четными рядами во избежание попадания в усушечные трещины.

Виды расстановки нагелей



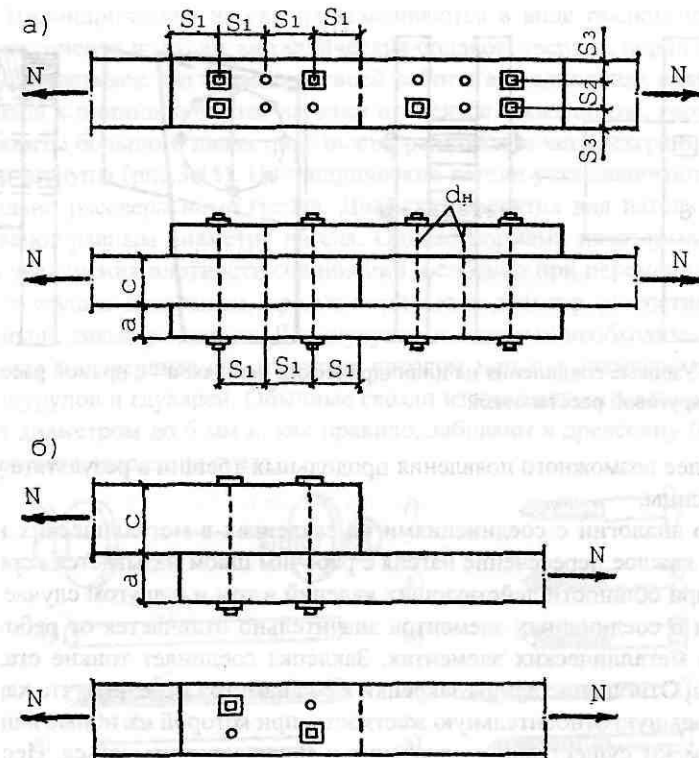
Рядовая

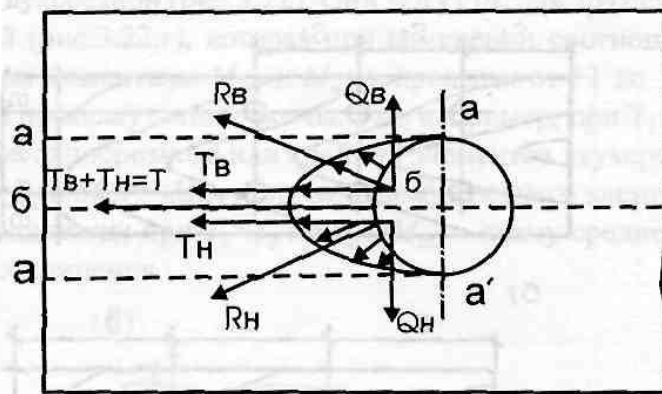
Круговая

Несимметричная односрезная

Термин «срез» – условный (точнее «шов»).

Симметричная двухсрезовая

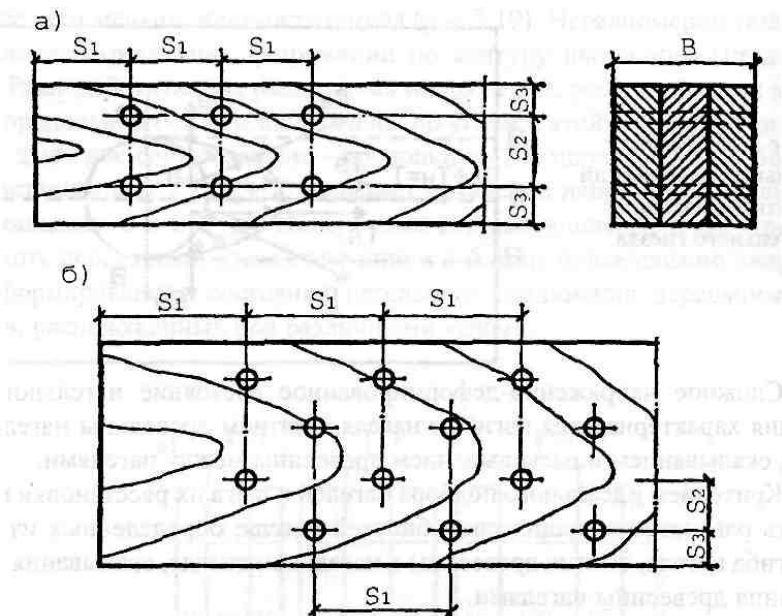




Эпюры нормальных напряжений смятия нагельного гнезда.

Сложное напряженно-деформированное состояние нагельного соединения характеризуется **изгибом нагеля**, **смятием древесины нагельного гнезда**, **скалыванием и раскалыванием древесины между нагелями**.

Несущая способность нагеля из условий скалывания и раскалывания зависит от расстояний между нагелями и схемы расстановки.



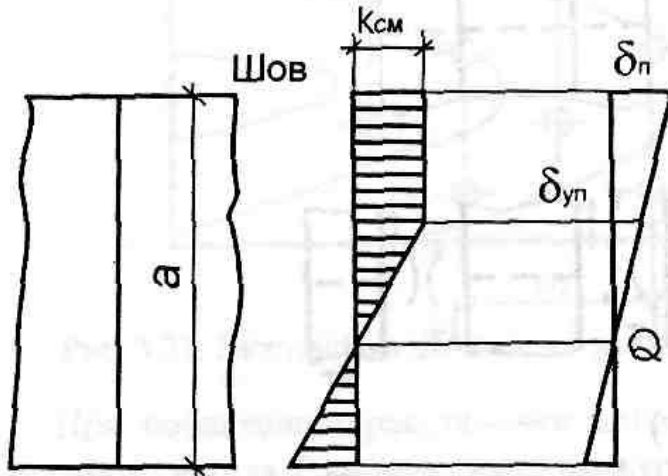
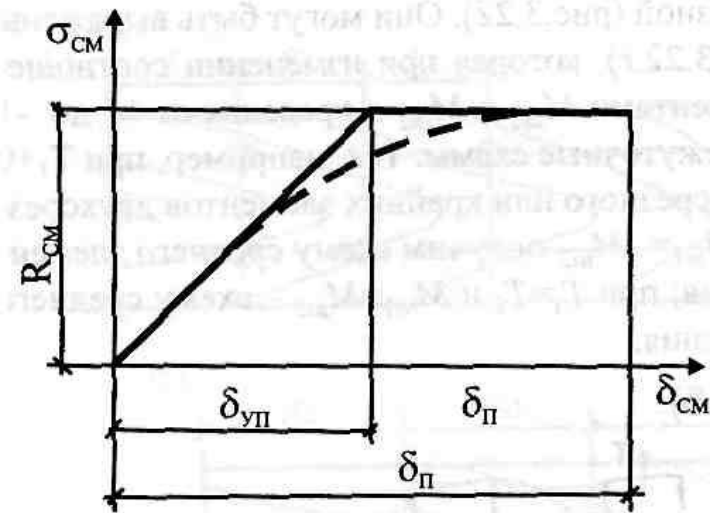
Для стальных цилиндрических нагелей:

Расстояние между осями нагелей вдоль волокон и от торца до оси $S_1 \geq 7d_n$,

Расстояние между осями нагелей поперек волокон $S_2 \geq 3,5d_n$,

Расстояние от кромки до оси нагеля (поперек волокон) $S_3 \geq 3d_n$

При разработке экспериментально-теоретического метода расчета нагелей В.М. Коченов ввел следующие упрощающие предпосылки:

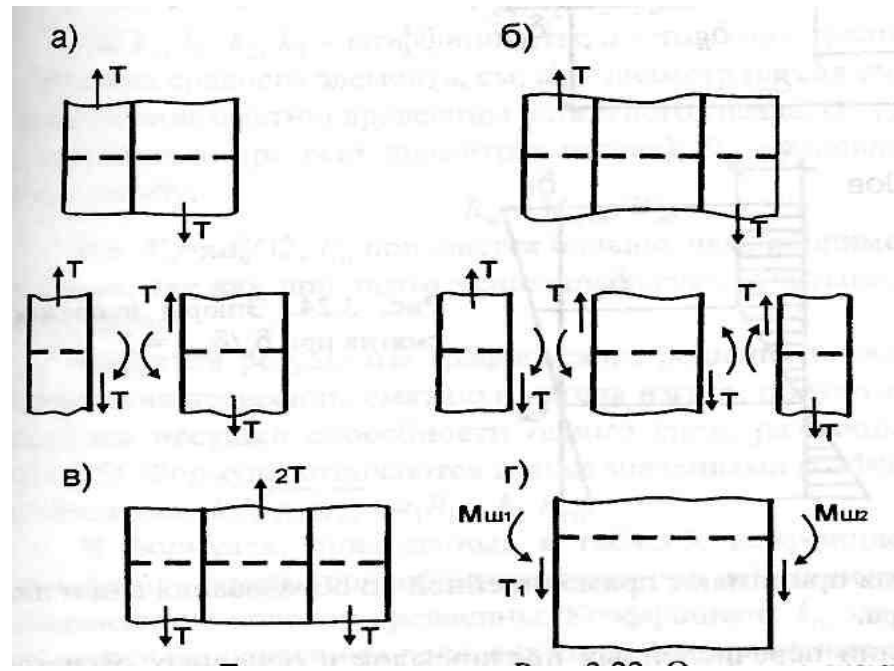


1. Принята диаграмма деформирования идеального упругопластичного материала для смятия древесины и для изгиба нагеля.
2. В пределах пластического участка напряжения остаются постоянными, равными для для древесины R_{cm} , а для нагеля - R_u , что равно пределу текучести стали.
3. Несущая способность нагеля T_n определяется не разрушением, а расчетной предельной деформацией δ_n .
4. Расчетная предельная деформация ограничена отношением полной деформации к упругой, которое принимают $\delta_n / \delta_{уп} \leq 2$.
5. Ось нагеля принимают прямолинейной до образования в нем пластического шарнира.

Несимметричная
односрезная

Симметричная
двухсрезная

Несимметричная
двухсрезная



В общем случае формулы несущей способности нагеля таковы:

Из условия изгиба нагеля

$$T_u = K_u \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{R_u \cdot R_{cm}}$$

В широких элементах, когда длина нагеля большая, несущая способность из условия изгиба имеет вид

$$T_u = K_u \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{R_u \cdot R_{cm}} + 4 \cdot k_3 \cdot a^2$$

Формулы расчетной несущей способности нагелей из условия смятия древесины гнезд примыкающих к шву элементов:

$$T_{см}^a = k_1 \cdot a \cdot d_n \cdot R_{см}$$

$$T_{см}^c = k_2 \cdot c \cdot d_n \cdot R_{см}$$

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты, $R_{и} = M_{пред} / W_n$ – условное сопротивление стали изгибу.

Схемы соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), кН (кгс)
1. Симметричные соединения	а) смятие в средних элементах б) смятие в крайних элементах	$0,5cd$ $0,8cd$
2. Несимметричные соединения	а) смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0,35cd$
	в) смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,35c$	$0,8ad$
3. Симметричные и несимметричные соединения	б) изгиб нагеля из стали С240	$1,8d^2 + 0,02a^2$, но не более $2,5d^2$

1.3. РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ НАГЕЛЕЙ

Соединения деревянных элементов между собой и с помощью деревянных накладок, прокладок

Устанавливают несущую способность нагеля на один шов:

Из условия смятия древесины гнезда
- в более толстом элементе **c**

$$T_{см}^c$$

- в более тонком элементе **a**

$$T_{см}^a$$

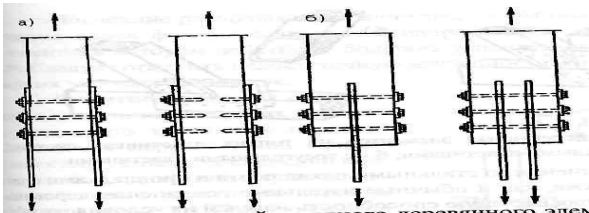
Из условия изгиба нагеля

$$T_u$$

Но не более

$$T_u^{max}$$

Соединения деревянных элементов между собой с помощью стальных накладок, прокладок



$$\delta_{нл} = 3...5\text{мм}$$

Устанавливают несущую способность нагеля на один шов:

Из условия смятия древесины гнезда
в деревянном элементе **c**

$$T_{см}^c$$

Из условия изгиба нагеля

$$T_u^{max}$$

В каждом случае расчетная несущая способность **T** равна минимальному значению из найденных.

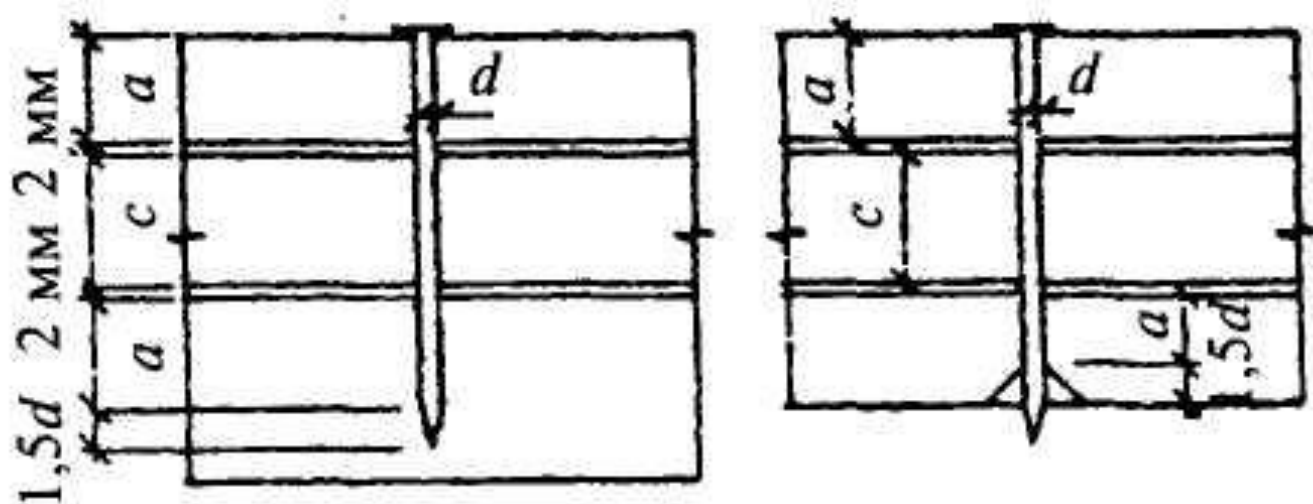
- смятия гнезда, необходимо умножить на коэффициент k_{α}
- изгиба нагеля – на $\sqrt{k_{\alpha}}$

Требуемое количество нагелей

$$n_n \geq \frac{N}{T \cdot n_{шв}}$$

1.4. ГВОЗДЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Гвозди в сдвигаемых соединениях работают как нагели. При диаметре до 6 мм их забивают без предварительного сверления отверстий. Несущая способность гвоздей не зависит от угла передачи усилия, что обусловлено малостью контактирующей поверхности и уплотнением древесины при забивке.

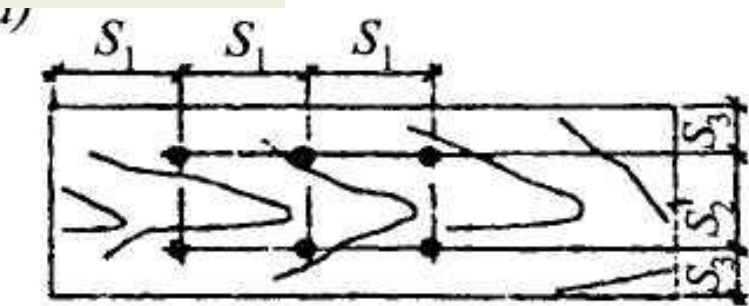


При определении расчетной длины заземления гвоздя в последней пробиваемой доске вычитают $1,5d_{зв}$, кроме того из расчетной длины гвоздя следует вычитать по 2 мм на каждый шов между соединяемыми элементами.

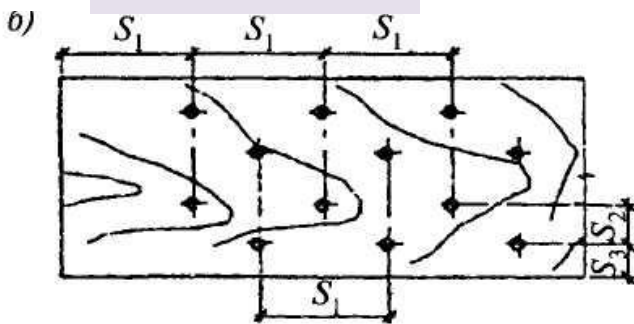
Если гвоздь не пробивает элемент, то необходимо из его длины вычесть длину острия, равную $1,5d_{зв}$.

Диаметр гвоздей не должен быть больше $0,25\delta$ – толщины пробиваемого элемента. Если расчетная длина гвоздя в примыкающем ко шву элементе $\leq 4d_{зв}$, то его работу в этом элементе не учитывают.

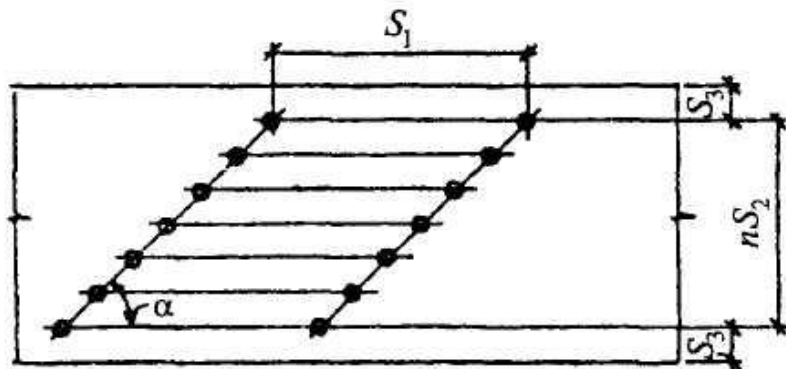
Гвоздевые и нагельные пластины (диаметр нагелей 3..4 мм). Система Мениг.



Прямая



Шахматная



Косая

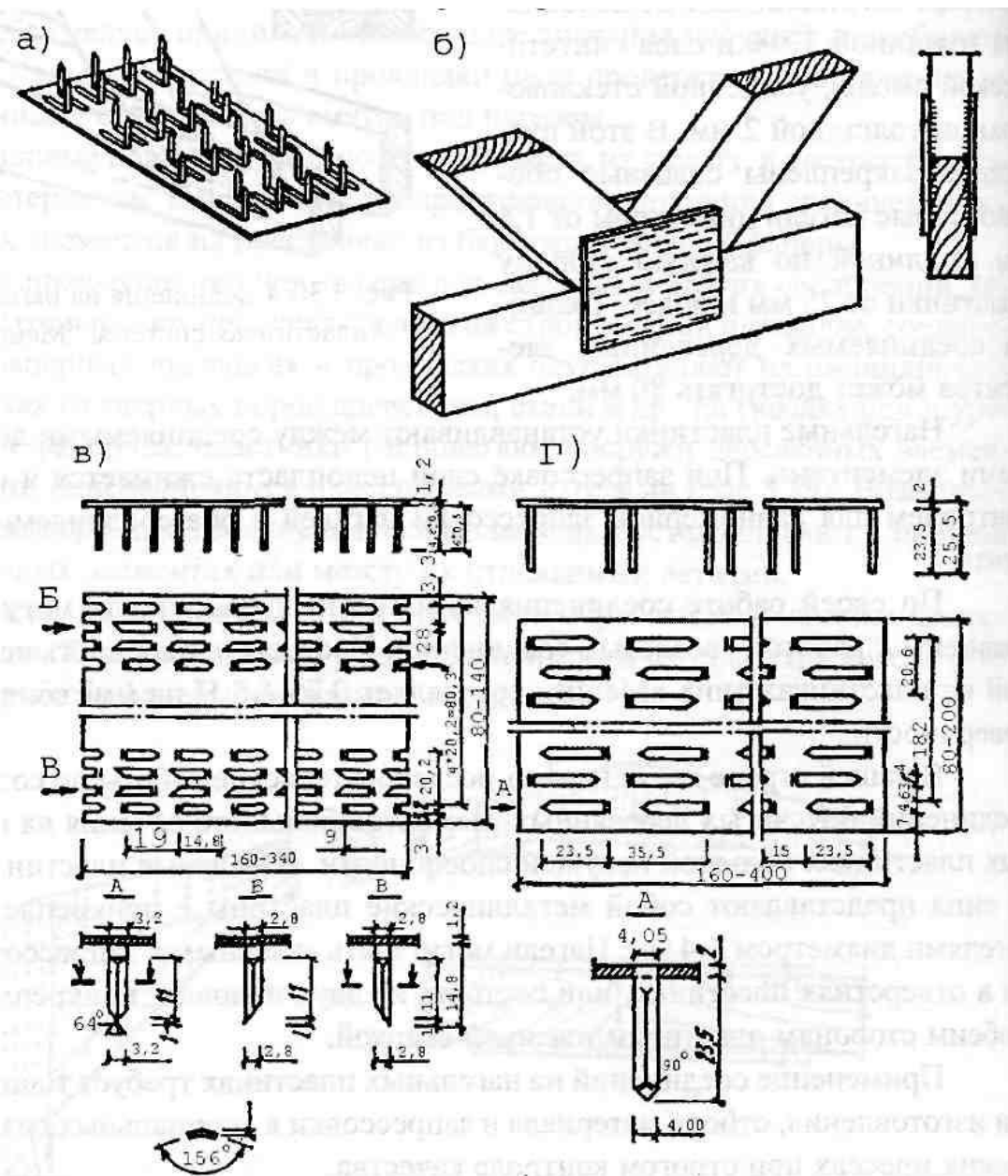
$S_1 = 15d$ при толщине пробиваемого элемента $c \geq 10d$;

$S_1 = 25d$ при толщине пробиваемого элемента $c = 4d$. (Для промежуточных значений толщины с наименьшее расстояние следует определять по интерполяции).

Для элементов, не пробиваемых гвоздями насквозь, независимо от их толщины, расстояние между осями гвоздей следует принимать равным $S_1 \geq 15d$.

Расстояние вдоль волокон древесины от гвоздя до торца элемента во всех случаях следует принимать не менее $S_1 = 15d$.

Расстояние между осями гвоздей поперек волокон древесины при прямой расстановке гвоздей следует принимать не менее $S_2 = 4d$; при шахматной расстановке или расстановке их косыми рядами под углом $\alpha \leq 45^\circ$ расстояние может быть уменьшено до $3d$.



Использование металлических коннекторных пластин с отштампованными зубьями началось в Соединенных Штатах на юге Флориды (соединение «gang-nails»; применительно к фермам эти соединения чаще именуют «truss plates»).

Сегодня фермы с соединениями на МЗП используются не только в жилищном строительстве, но также в промышленных и общественных зданиях и сельскохозяйственных постройках. В Соединенных Штатах до 130000 тонн металлических коннекторных пластин в год используется почти 1400 потребителями, осуществляющими сборку.

В настоящее время конструкции с использованием соединительных пластин применяются практически по всей Европе.

В настоящее время до 80 % всех деревянных конструкций в развитых странах мира изготавливается с применением зубчатых пластин (МЗП).

Несущую способность деревянных конструкций на МЗП определяют из условия смятия древесины гнезда, изгиба зубьев пластины, условий прочности самой пластины при растяжении, сжатии и срезе..

Классические формулы по определению прогибов деревянных ферм на МЗП с предположениями о шарнирности узловых сопряжений оказываются несправедливы. Традиционное представление о податливости нагельных соединений при использовании в конструкциях соединений на МЗП оказывается верным лишь при очень высоких уровнях напряжения.

МЗП рекомендуется изготавливать из листовой углеродистой стали марок 08кп или 10кп толщиной 1,2 и 2 мм. Защиту от коррозии осуществляют цинкованием.

Несущую способность соединения на МЗП N_c , кН по условиям смятия древесины при изгибе, растяжении, сдвиге и сжатии, когда элементы воспринимают усилия под углом к волокнам древесины, определяют

$$N_c = 2R \cdot F_p$$

Где R – расчетная несущая способность 1 кв.см рабочей поверхности соединения;
 F_p – расчетная площадь поверхности МЗП за вычетом площадей на участке пластины в виде полос шириной **10 мм**, примыкающих к линиям сопряжения элементов и участков пластины, которые находятся за пределами зоны рационального расположения МЗП.

Последняя ограничивается линиями, параллельными линии стыка, проходящими по обе стороны от нее на расстоянии половины длины стыка.

Несущая способность МЗП при растяжении

$$N_p = 2bR_p$$

Где **b** – размер пластины в направлении, перпендикулярном направлению усилия, см; **R_p** – расчетная несущая способность пластины на растяжение, кН/м.

Несущая способность МЗП при срезе

$$N_p = 2l_{cp}R_{cp}$$

Где **l_{cp}** – длина среза сечения пластины без учета ослаблений, см; **R_{cp}** – расчетная несущая способность пластины на срез, кН/м.

При совместном действии на пластину усилий среза и растяжения должно выполняться условие:

$$\left(\frac{N_p}{2R_p \cdot b}\right)^2 + \left(\frac{Q_{cp}}{2R_{cp} \cdot l_{cp}}\right)^2 \leq 1$$

Площадь соединений с одной стороны от стыка должна быть **$\geq 50 \text{ кв.см}$** при пролете конструкции **12 м** и **$\geq 75 \text{ кв.см}$** при пролете **18 м** . Расстояние от кромок элемента до края МЗП **$\geq 10 \text{ мм}$** .

Пример нагельного соединения с фанерными накладками



Пример круговой
расстановки нагелей

