

Раздел 3. Соединения элементов конструкций из дерева и пластмасс их расчет.

3.1 Виды соединений, их классификация. Требования, предъявляемые к соединениям.

Применяемый для строительства лесоматериал в виде бревен и пиломатериала имеет максимальные размеры поперечного сечения 25 -28 см и предельную длину 6,5 м. Вследствие ограниченности размеров дерева создание из него строительных конструкций больших пролетов или высоты невозможно без соединения отдельных элементов. Соединения деревянных элементов для увеличения поперечного сечения конструкции называют сплачиванием, а для увеличения их продольной длины - сращиванием. Наряду со сплачиванием и сращиванием деревянные элементы могут соединяться в узлах конструкций под различными углами.

Необходимость правильного решения соединений отдельных деревянных элементов для работы конструкции в целом объясняется еще и тем, что анизотропное строение древесины проявляет свои отрицательные качества в большей степени в местах соединений.

Соединения элементов деревянных конструкций по способу передачи усилий разделяются: 1) контактные соединения; 2) соединения на механических связях; 3) соединения на клеях.

Контактные соединения не имеют механических связей это соединения, в которых усилия передаются непосредственным упором контактных поверхностей соединяемых элементов;

Механическими в соединениях деревянных конструкций называют рабочие связи различных видов из твердых пород древесины, стали, различных сплавов или пластмасс, которые могут вставляться, врезаться, ввинчиваться или запрессовываться в тело древесины соединяемых элементов. К механическим связям относятся нагели, болты, глухари, гвозди, шурупы, шайбы шпоночного типа, нагельные пластинки и металлические

зубчатые пластины. Передача сил в соединениях с механическими связями происходит через отдельные точки (дискретно).

Клеевые соединения, наиболее прогрессивные и технологичные, являются основными соединениями при заводском изготовлении клеедеревянных конструкций. Соединения, не требующие специальных связей, и металлические могут быть использованы при производстве деревянных конструкций в любых условиях как на специальных заводах, так и в условиях строительных площадок.

Технологические требования, предъявляемые к соединениям деревянных конструкций:

- надежность;
- индустриальность изготовления;
- плотность;
- преобладание вязкой, пластической работы.

3.2 Основные положения расчета соединений.

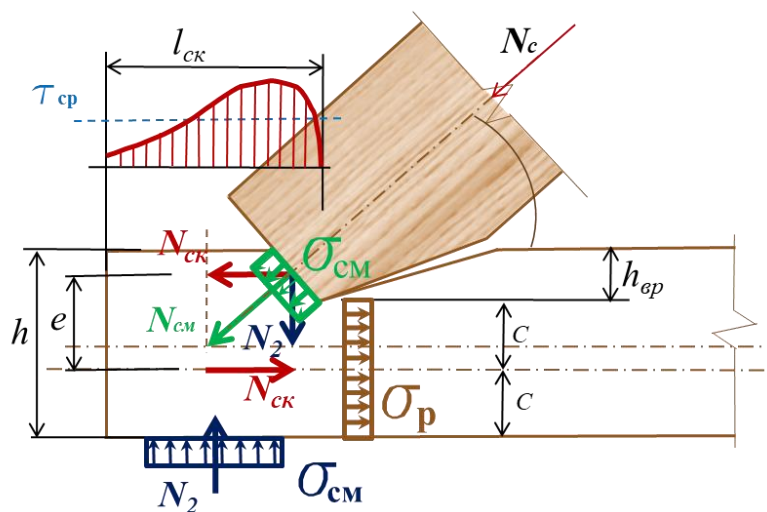
Расчетное усилие, действующее на соединение, не должно превышать несущей способности соединения. Сложное напряженное состояние в соединениях из-за наложения различных напряжений обуславливает определение несущей способности соединения исходя из нескольких условий. При расчете деревянных конструкций необходимо учитывать податливость их соединений.

Из опыта эксплуатации деревянных зданий и сооружений предельный относительный сдвиг между соединяемыми элементами ограничивается 1,5 - 2 мм. Усилие, которое вызывает предельный сдвиг, принимают за несущую способность соединения, если оно меньше несущей способности соединения, определенного из условий смятия и скалывания.

3.2.1 Соединение на лобовой врубке.

Врубкой называют соединение (рис. 3.2.1), в котором усилие элемента, работающего на сжатие, передается другому элементу непосредственно без вкладышей или иных рабочих связей.

Соединяемые врубкой элементы деревянных конструкций (д. к.) должны быть скреплены вспомогательными связями — болтами, хомутами, скобами и т. п., которые следует рассчитывать в основном на монтажные нагрузки.



Лобовая врубка может утратить несущую способность при достижении одного из трех предельных состояний: 1) по смятию площадки упора $F_{см\alpha}$; 2) по скалыванию площадки $F_{ск}$; 3) по разрыву ослабленного врубкой нижнего пояса.

а) из условий смятия древесины

$$\frac{N_{\text{CM}}}{F_{\text{CM}}} \leq R_{\text{CM},\alpha}^{\text{p}}$$

где $F_{см}$ - расчетная площадь смятия; $R_{см\alpha}$ - расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон.

Площадь смятия определяют глубиной врубки $h_{вр}$, которая ограничивается нормами $h_{вр} \leq h_{бр}/3$, где $h_{бр}$ — высота растянутого элемента.

Решающее значение имеет как правило несущая способность врубки, исходя из условий скалывания. Согласно СП 64.13330.2017, лобовую врубку на скалывание рассчитывают на прочность из условия скалывания древесины по скалыванию следует производить по формуле:

$$\frac{N_{ск}}{F_{ск}} \leq R_{ск, ср}^p$$

где $F_{ск}$ - расчетная площадь скалывания; $R_{ск, ср}^p$ - расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон среднее по площадке:

$$R_{ск}^{ср} = \frac{R_{ск}^p}{1 + \beta \frac{L_{ск}}{e}}$$

Здесь $R_{ск}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон (при расчете по максимальному напряжению), приведенное в нормах; $L_{ск}$ - расчетная длина плоскости скалывания; e - плечо сил скалывания; β - коэффициент учитывает неравномерность распределения напряжений скалывания и зависит от вида скалывания. Если площадка скалывания располагается по одну сторону от места приложения сил, то имеет место одностороннее скалывание, при котором скалывающие напряжения концентрируются в начале площадки скалывания (рис. 3.2.1.). Эпюра τ имеет несимметричное очертание, приближающееся к треугольному. В этом случае коэффициент $\beta = 0,25$.

Увеличение длины площадки скалывания за пределами десяти глубин врезки в расчете на скалывание не учитывается, поскольку при допуске нормами косослое скалывание может произойти на длине $l_{ск}=10 h_{вр}$ и при большей длине запроектированной площадки скалывания. Для того чтобы уменьшить опасное влияние растягивающих напряжений поперек волокон и

торцевых усушечных трещин на несущую способность соединения длина площадки скалывания должна быть не менее $l_{ск} \geq 3e$. Во всех случаях требуется обеспечение прижима скалываемой части.

В промежуточных узлах сквозных деревянных конструкций глубина врубки не должна превышать $1/4$ высоты или толщины элемента. В опорных узлах глубина врубки не должна превышать $1/3$ высоты бруса. Минимальная глубина врубки должна быть не менее: для брусьев 2 см, для бревен 3 см.

Силы трения между соединяемыми элементами, которые оказывают разгружающее действие, в расчете соединений элементов деревянных конструкций, как правило, не должны учитываться, за исключением случаев однократного, кратковременного (при аварии и монтаже) действия прижимающих сил.

Несущая способность врубки из условия разрыва растянутого элемента в ослабленном сечении:

$$\frac{N_{ск}}{F_{осл}} \leq R_p$$

Как показывает опыт проектирования при правильном центрировании узла запас по прочности обеспечивается с избыточным запасом.

В результате расчета установлено:

1. Чем больше отношение длины плоскости скалывания к e , тем больше коэффициент концентрации напряжений сдвига;
2. Чем меньше угол α , тем меньше коэффициент концентрации напряжений сдвига;
3. Чем больше нормальная к плоскости сдвига составляющая, тем выше значение концентрации напряжений сдвига.

3.2.2. Соединения на механических связях.

Передача сил от одного соединяемого элемента другому осуществляется непосредственно через поверхность их контакта или через рабочие связи. Многочисленные исследования показали неэффективность применения в одном соединении различных типов рабочих связей, например болтов и

гвоздей. Увеличение несущей способности соединения, не изменяя площади контакта соединяемых элементов, может быть достигнуто установкой накладок и прокладок на нагелях, клеевыми соединениями и др. Сравнение различных соединений на примере растянутого симметричного стыка показывает, что наибольшей несущей способностью, приведенной к единице контактной поверхности, обладает клеевой шов. Наибольшую несущую способность среди всех других соединений имеют нагели небольшого диаметра (до 5 мм), устанавливаемые в предварительно рассверленные отверстия с шагом, принятым как и для цилиндрических нагелей.

Соединения на цилиндрических нагелях, на гвоздях.

Нагелем называется гибкий стержень или пластина, который соединяет элементы деревянных конструкций и препятствует их взаимному сдвигу, а сам в основном работает на изгиб. Нагель может быть выполнен из стали, алюминия, конструкционной пластмассы, древесины твердых лиственных пород. Древесина нагелей, вкладышей и т.п. соединительных деталей должна быть прямослойной, без сучков и других пороков, влажность древесины не должна превышать 12 %.

Работу нагеля можно рассмотреть на примере соединения двух сдвигаемых элементов (рис. 3.2.2).

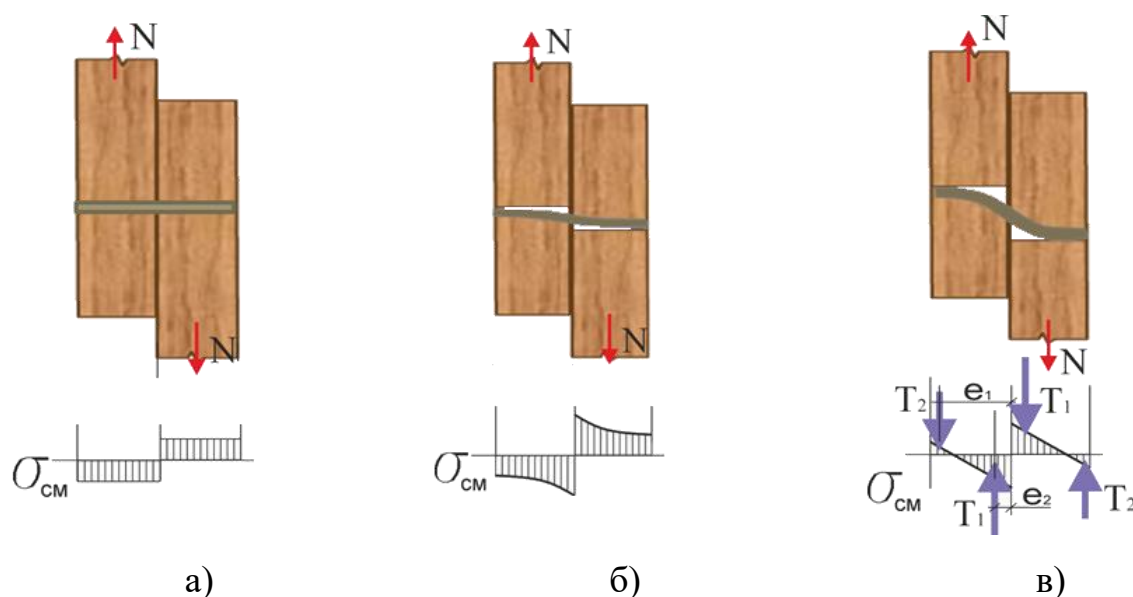


Рис. 3.2.2. Схема работы нагеля

а) - первоначальное положение; б) - поворот; в) - деформированный нагель; $\sigma_{см}$ - эпюры сминающих упругопластических напряжений древесины; T - сдвигающее усилие; $T_1 T_2$ - равнодействующие сминающих напряжений древесины

Силы, сдвигающие сплавляемые элементы, стремятся опрокинуть нагель. Под действием этих сил нагель после некоторого поворота, обусловленного неплотностями и обмятием древесины, упирается в нее сначала по краям элементов, а затем начинает изгибаться. При изгибе нагеля увеличивается поверхность его контакта с древесиной, что вызывает появление в ней неравномерных напряжений смятия по всей длине нагеля (рис. 3.2.2. б). Напряжения смятия древесины нагелем имеют разные знаки, и их равнодействующие образуют две пары взаимно уравновешенных продольных сил (рис. 3.2.2 в), препятствующих повороту нагеля. По условию равновесия нагеля моменты этих пар равны: $T_1 e_1 = T_2 e_2$ или $T_1 / T_2 = e_2 / e_1$

Соединения на цилиндрических нагелях

Цилиндрические нагели изготавливают в виде гладких стержней круглого сечения из стали, металлических сплавов, твердых пород древесины и из пластмасс. По характеру своей работы в соединениях сдвигаемых элементов к цилиндрическим нагелям относятся также болты, гвозди, глухари (винты большого диаметра с шестигранной или четырехгранной головкой) и шурупы (рис. 3.2.3).

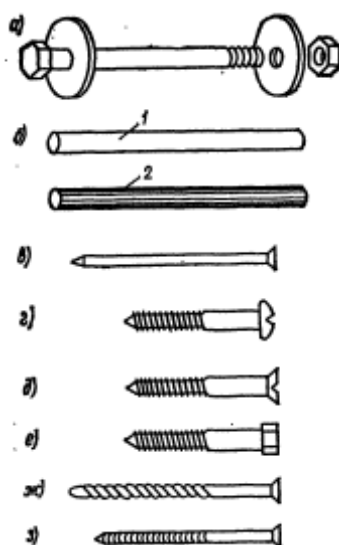


Рис. 3.2.3. Основные виды цилиндрических нагелей: а – болт с гайкой и круглыми шайбами; б – цилиндрический нагель из круглой стали (1), из твердых пород древесины, стеклопластика (2); в – гвоздь; г, д - шурупы, е – глухарь; ж, з – профилированные гвозди

Цилиндрические нагели устанавливают в предварительно рассверленные отверстия. Диаметр отверстия для нагеля обычно принимают равным диаметру нагеля. Однако нормами некоторых стран с целью увеличения плотности соединений, особенно при переменной влажности и усушке древесины, предусматривается диаметр отверстия на 0,2-0,5 мм меньше диаметра нагеля. Для шурупов и глухарей необходимо предварительное просверливание отверстия сверлом диаметром меньше диаметра нарезной части шурупов и глухарей. Обычные гвозди изготавливают из гладкой проволоки диаметром до 6 мм и чаще забивают в древесину без предварительного сверления гнезд.

Цилиндрические нагели и болты применяют для сплачивания элементов деревянных конструкций, соединения их по длине (рис. 3.2.4 а), а также в узловых примыканиях (рис. 3.2.4 б). Соединения деревянных элементов на нагелях бывают симметричными и несимметричными.

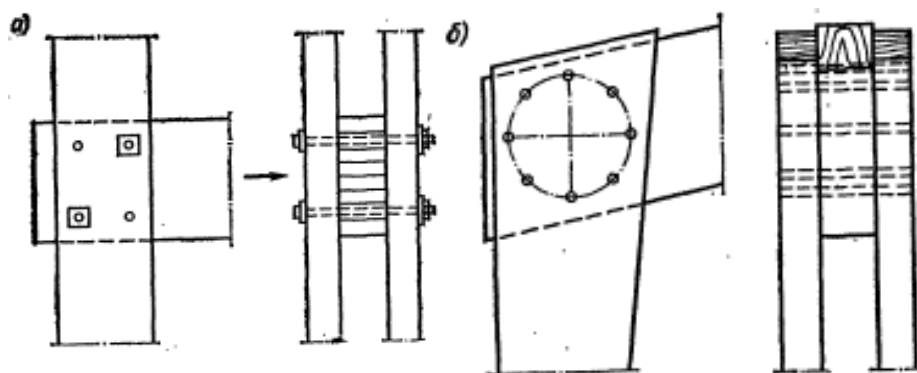


Рис. 3.2.4. Узловые соединения на цилиндрических нагелях: а - с прямой расстановкой; б - с круговой расстановкой

В растянутых стыках по ширине элемента следует ставить только четное количество продольных рядов нагелей. Это требование объясняется тем, что при нечетном числе рядов средний оказывается по оси доски в зоне наиболее возможного появления продольных трещин в результате усушки древесины.

Каждое пересечение нагеля с рабочим швом называется «срезом». В соединениях деревянных элементов нагель работает как гибкий стержень главным образом на изгиб и неравномерно сминает древесину в гнезде. Напряжения среза в нагеле не учитываются в расчете. В зависимости от

расположения срезов по отношению к осям действия сил различают симметричные и несимметричные соединения (рис. 3.2.5).

Расчет нагельных соединений основан на том положении, что действующее на соединение (связь) усилие не должно превышать расчетной несущей способности соединения (связи) T . Расчетное количество нагелей n_n принимают не менее 2-х с диаметром 12-24 мм и определяют по формуле:

$$n_n \geq N / (T_{min} \cdot n_{ш})$$

где N - расчетное усилие, действующее в растянутом стыке; $n_{ш}$ - количество срезов нагеля; T_{min} - наименьшая расчетная несущая способность одного среза одного нагеля.

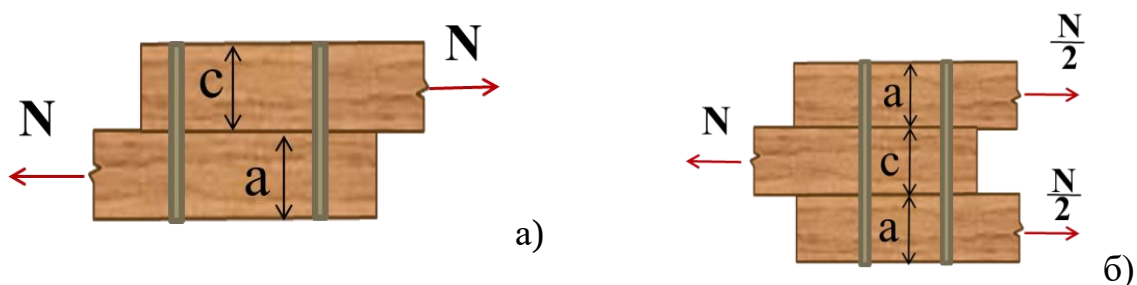


Рис. 3.2.5. Соединения на цилиндрических нагелях деревянных растянутых элементов: а - симметричное двухсрезное; б - несимметричное односрезное

По конструктивному сочетанию нагелей и соединяемых деревянных элементов различают следующие виды нагельных соединений (рис. 3.2.6):

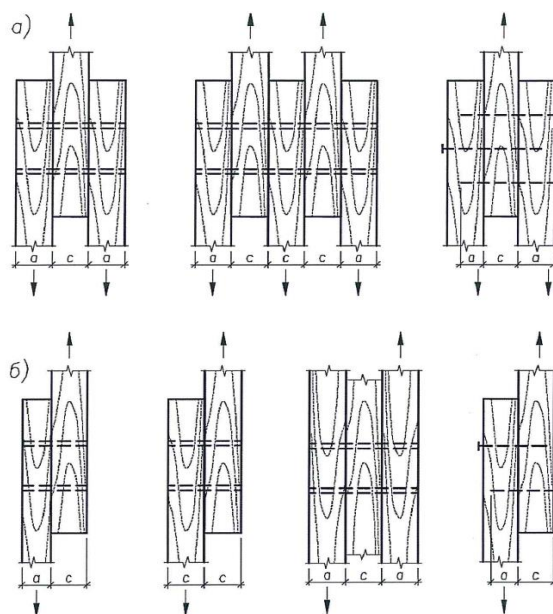


Рис. 3.2.6. Виды нагельных соединений по конструктивному сочетанию нагелей и соединяемых деревянных элементов

Определение расчетной несущей способности одного «среза» нагеля.

Действующие в соединяемых элементах усилия стремятся сдвинуть их относительно друг друга. Нагель, препятствуя этому, изгибается. Изгиб нагеля зависит от жесткости самого нагеля и смятия древесины нагельного гнезда. Нагель можно рассматривать как балку, лежащую на сплошном упругопластическом основании - древесине нагельного гнезда. Напряжения смятия в древесине по длине нагеля неравномерны. Эта неравномерность тем значительнее, чем меньше жесткость нагеля (рис. 3.2.7), Неравномерно также распределение сминающих напряжений по контуру нагельного гнезда (рис.3.2.8).

Критерием идеального подбора нагеля и шага их расстановки может служить равенство несущих способностей нагеля, определенных из условий изгиба нагеля, смятия древесины в нагельном гнезде, скалывания и раскалывания древесины между нагелями.

Несущая способность нагеля из условий скалывания и раскалывания древесины главным образом зависит от расстановки нагелей. Минимальные расстояния между нагелями назначают таким образом, чтобы несущая способность нагеля по скалыванию и раскалыванию заведомо превышала несущую способность нагеля по его изгибу и смятию древесины нагельного гнезда.

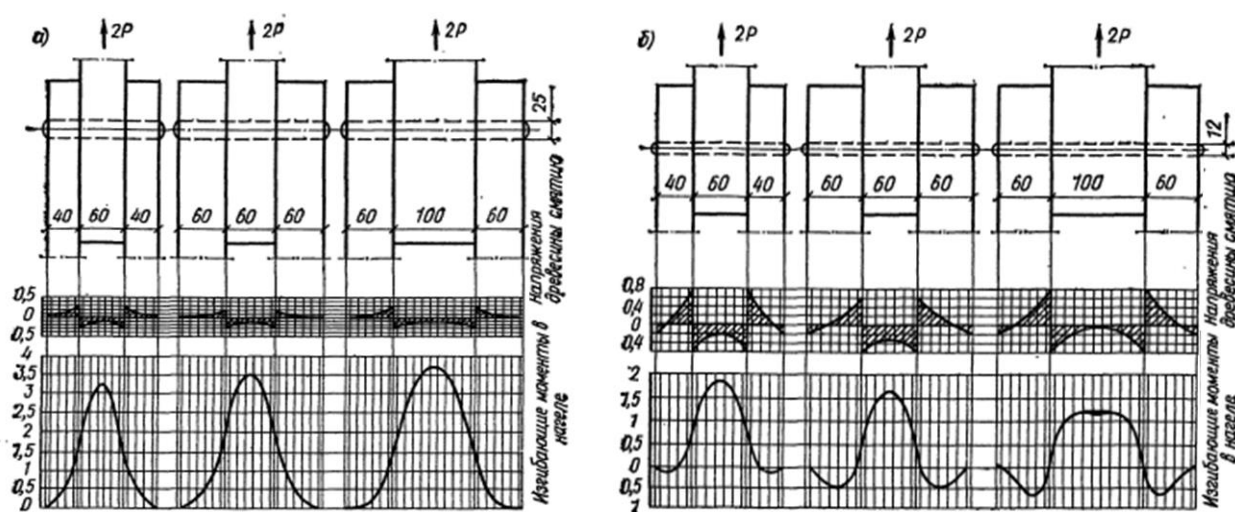


Рис. 3.2.7. Эпюры напряжений древесины нагельного гнезда смятия и изгибающих моментов в нагеле при диаметре нагеля: а – 25 мм, б – 12 мм

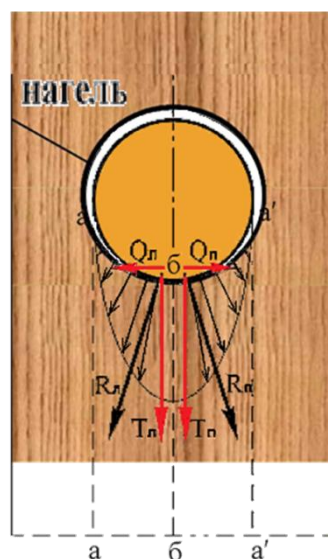


Рис. 3.2.8. Эпюры радиальных напряжений смятия древесины нагельного гнезда

Минимальные расстояния между осями нагелей принято выражать в диаметрах нагеля. Они определяются видом нагелей и толщиной соединяемых элементов. Расстановка нагелей в соединениях может быть прямой или в шахматном порядке (рис. 3.2.9).

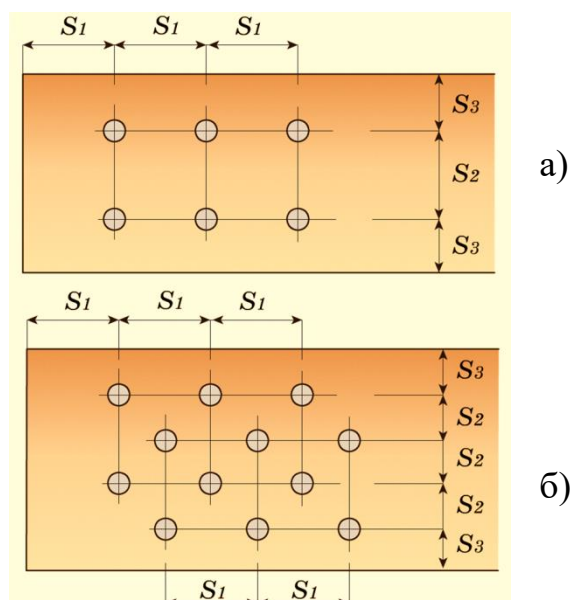


Рис.3.2.9. Расстановка нагелей: а - прямая; б - в шахматном порядке

В таблице 3.2.1 приведены рекомендуемые СП 64.13330.2017 минимальные расстояния между цилиндрическими нагелями.

Таблица 3.2.1

Минимальные расстояния между нагелями

Расстановка нагелей и измеряемое расстояние	Расстояние для цилиндрических ^[17] _[SEP] нагелей	
	Стальных	Дубовых
Вдоль волокон:		
от торца до оси	$\geq 7 d$	$\geq 5 d$
между осями нагелей	$\geq 7 d$	$\geq 5 d$
Поперек волокон:		
между осями нагелей	$\geq 3,5 d$	$\geq 3 d$
от кромки элемента до оси нагеля	$\geq 3 d$	$\geq 2,5 d$

При соблюдении расстановки нагелей расчетная несущая способность одного среза нагеля T_n определяется только из условий изгиба нагеля и смятия древесины нагельного гнезда в прилегающих к шву элементах.

Нагель рассматривают в виде стержня, работающего в упругопластической среде, а соединения расчленяются на три основные схемы: для несимметричной односрезной, - схемы для кососимметричной двухсрезной и симметричной двухсрезной (рис. 3.2.10).

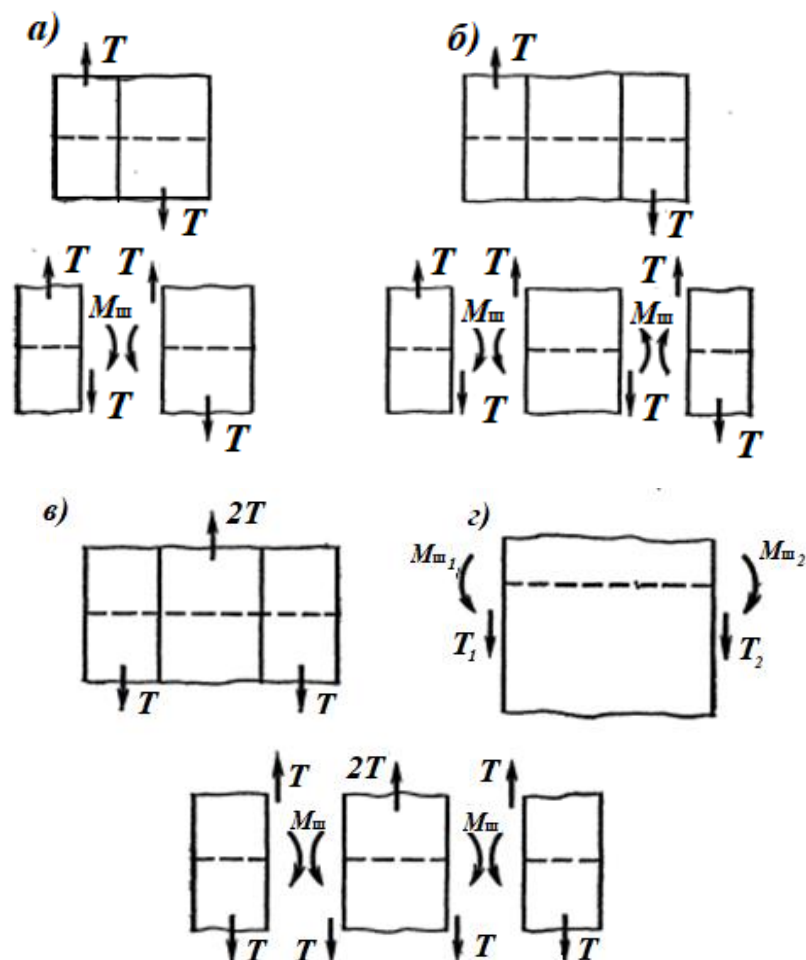


Рис. 3.2.10. Основные схемы нагельных соединений : а) – несимметричная односрезная; б) - несимметричная двухсрезная; в) - симметричная двухсрезная; г) - обобщенная схема нагельного соединения

На основании перечисленных предпосылок и основных расчетных схем были получены формулы для определения несущей способности одного среза различных видов нагелей (таб. 3.2.2). В таблице 3.2.2 приняты следующие обозначения: a - толщина крайних элементов, [см]; c - толщина среднего элемента, [см]; d - диаметр нагеля, [см], k_a - коэффициент, учитывающий угол смятия в соединении.

Таблица 3.2.2

Формулы для определения расчетной несущей способности одного среза одного нагеля T_1 , [кН]

Схема соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность T -на один шов сплачивания (условный срез), кН	
		гвоздя, стального, алюминиевого, стеклопластикового нагеля	дубового
1 Симметричные соединения	а) Смятие в средних элементах	$0,75cd$	$0,45cd$
	б) Смятие в крайних элементах	$1,2ad$	$0,75ad$
2 Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах более равной толщины, а также в толстых элементах односрезных соединений	$0,55cd$	$0,3cd$
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0,5c$	$0,4cd$	$0,2 cd$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,35c$	$1,2ad$	$0,75ad$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0,35c$	$1,5k_a ad$	$1,5k_a ad$
3 Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб гвоздя	$3,1d^2 + 0,012a^2$, но не более $5d^2$	-
	б) Изгиб нагеля из стали С235 и арматуры А240 ($R_k=440$ МПа)	$2,2d^2 + 0,025a^2$, но не более $3,1 d^2$	-
	в) Изгиб нагеля из алюминиевого сплава Д16-Т	$2d^2 + 0,025a^2$, но не более $2,2d^2$	-
	г) Изгиб нагеля из стеклопластика АГ-4С	$1,8d^2 + 0,025a^2$, но не более $2,2d^2$	-

	д) Изгиб нагеля из древесно-слоистого пластика ДСПБ	$d^2+0,025a^2$, но не более $1,5d^2$	-
	е) Изгиб дубового нагеля		$0,55 d^2+0,025a^2$, но не более $0,8d^2$

Расчетную несущую способность цилиндрических нагелей при направлении передаваемого нагелем усилия под углом к волокнам следует определять согласно 8.13 с умножением:

а) на коэффициент k_α (таб. 3.2.3) при расчете на смятие древесины в нагельном гнезде (для нагеля, работающего в торце, расчет не выполняют);

б) величину $\sqrt{k_\alpha}$ при расчете нагеля на изгиб; угол α следует принимать равным большему из углов смятия нагелем элементов, прилегающих к рассматриваемому шву (кроме нагеля, работающего в торце);

в) величину $0,6 \sqrt{k_\alpha}$ при расчете нагеля на изгиб, работающего в торце деревянного элемента.

Таблица 3.2.3

Величина коэффициента k_α

Угол, град	Коэффициент k_α				
	для стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей диаметром, мм				для дубовых нагелей
	12	16	20	24	
30	0,95	0,9	0,9	0,9	1
60	0,75	0,7	0,65	0,6	0,8
90	0,7	0,65	0,55	0,5	0,7

Особенности работы гвоздей.

Гвозди в соединениях сдвигаемых деревянных элементов работают как нагели. Их обычно забивают в древесину без предварительного просверливания, что обуславливает некоторые особенности их работы. Как указывалось раньше, исследования показали повышенную несущую способность гвоздей, вставленных в предварительно просверленные

отверстия. Однако в этом случае гвозди принято называть тонкими нагелями и их расчет полностью совпадает с расчетом нагелей.

Диаметр гвоздей, забиваемых в цельную древесину, не превышает 6 мм и поэтому их несущая способность не зависит от угла между направлением действия силы и направлением волокон. В связи с этим для гвоздей коэффициент уменьшения несущей способности k_a не вводят в формулы определения несущей способности (таб. 3.2.3).

При определении расчетной длины защемления конца гвоздя в последней непробиваемой насквозь доске не следует учитывать часть длиной $1,5 d_{гв}$ (рис. 3.2.11).

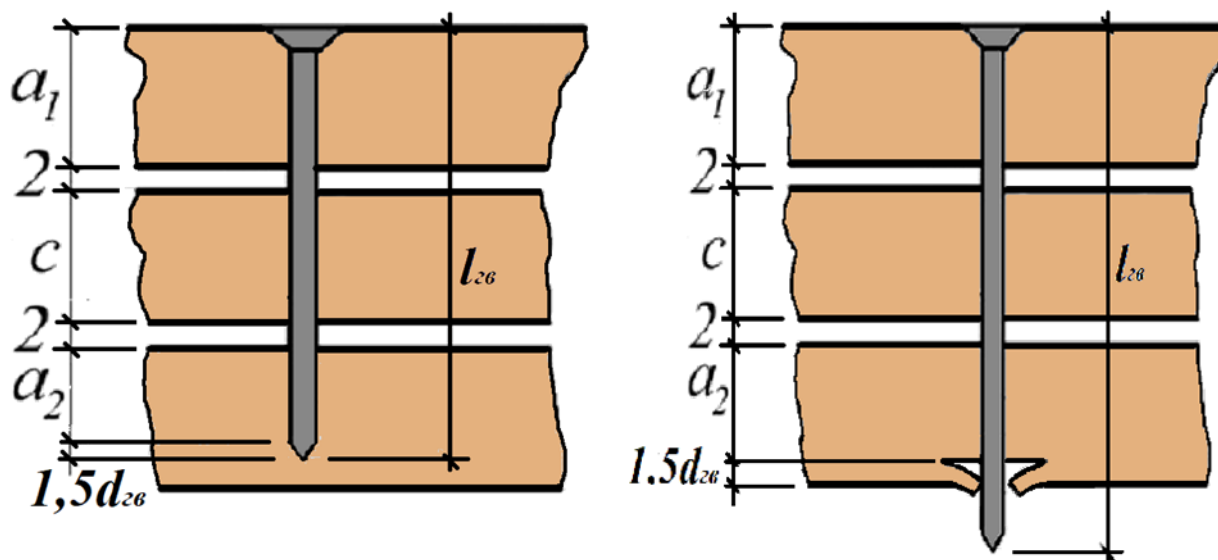


Рис. 3.2.11. Определение глубины защемления гвоздя

Кроме того, из длины гвоздя при определении длины его защемления следует вычитать по 2 мм на каждый шов между соединяемыми элементами. Если расчетная длина защемления конца гвоздя получается меньше $4d_{гв}$, то его работу в примыкающем к шву элементе учитывать не следует. Диаметр гвоздей принимать не более 0,25 толщины пробиваемого элемента. Если последняя доска пробивается гвоздем насквозь, то, учитывая отщеп ее нижнего слоя, рабочая толщина доски уменьшается на $1,5 d_{гв}$.

Минимальные расстояния между осями гвоздей вдоль волокон древесины следует принимать не менее $S_1 = 15d_{гв}$ при толщине пробиваемого элемента $c \geq 10d_{гв}$; $S_1 = 25d_{гв}$ при толщине пробиваемого элемента $c = 4d$. Для

промежуточных значений толщины элемента наименьшее расстояние следует определять по интерполяции. Расстояние вдоль волокон древесины от оси гвоздя до торца элемента во всех случаях надо брать не менее $S_1=15d$. Расстояние между осями гвоздей поперек волокон древесины при прямой расстановке гвоздей принимают не менее $S_2=4d$; при шахматной расстановке или расстановке их косыми рядами это расстояние может быть уменьшено до $S_2=3d$, а расстояние от продольной кромки до оси гвоздя $4d$.

Для увеличения плотности соединений нашли применение особые профилированные гвозди с негладкой поверхностью, забиваемые в древесину пневматическими молотками.

Соединения на металлических зубчатых пластинках (МЗП).

Для узловых соединений дощатых элементов в последнее время нашли применение металлические зубчатые пластинки (МЗП). Наибольшее распространение в зарубежной практике строительства получили МЗП системы «Ганг-Нейл» (рис. 3.2.12).

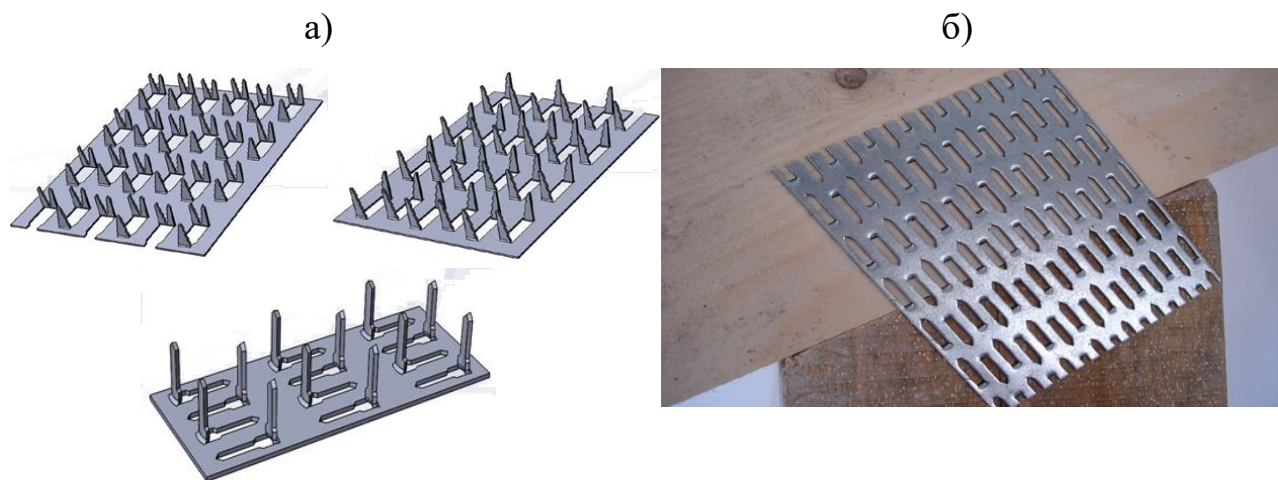


Рис. 3.2.12. Соединение на металлических зубчатых пластинках (МЗП): а) - пластины МЗП; б) - узел дощатой фермы на МЗП

МЗП представляет собой стальные пластинки толщиной 1-2 мм, на одной стороне которых после штамповки на специальных прессах получают зубья различной формы и длины. МЗП ставят попарно по обе стороны соединяемых элементов таким образом, чтобы ряды МЗП располагались в направлении волокон присоединяемого деревянного

элемента, в котором действуют наибольшие усилия. Изготовление конструкций должно производиться на специализированных предприятиях или в деревообрабатывающих цехах, оснащенных оборудованием для сборки конструкций, запрессовки МЗП и контрольных испытаний конструкций. Ручная запрессовка МЗП недопустима.

Несущую способность деревянных конструкций на МЗП определяют по условиям смятия древесины в гнездах и изгиба зубьев пластин, а также по условиям прочности пластин при работе на растяжение, сжатие и срез.

Материалом для изготовления конструкций служит древесина сосны и ели шириной 100-200 мм, толщиной 40-60 мм. МЗП рекомендуется изготавливать из листовой углеродистой стали марок 08 кп или 10кп по ГОСТ 1050 толщиной 1,2 и 2 мм. Антикоррозионную защиту МЗП выполняют оцинковкой по ГОСТ 14623.

Сквозные конструкции рассчитывают с учетом неразрезности поясов и в предположении шарнирного крепления к ним элементов решетки. Несущая способность соединения на МЗП N_c , кН, по условиям смятия древесины и изгиба зубьев при растяжении, сдвиге и сжатии, когда элементы воспринимают усилия под углом к волокнам древесины, определяют по формуле:

$$N_c = 2R \cdot F_p \text{ где}$$

Таблица 3.2.4

Расчетная несущая способность (РНС) соединений на МЗП

Обозначение	Напряженное состояние соединения	Характерный угол β, α, γ град	РНС соединения с пластинами типа	
			МЗП-1,2	МЗП-2
R, МПа, рабочей площади соединения	Смятие древесины, изгиб зубьев при углах β	0 - 15	0,8	0,8
		30	0,7	0,7
		45	0,6	0,6
		60	0,5	0,5
		75-90	0,4	0,4
R _p , кН/м, ширины рабочего сечения пластины	Растяжение пластины при угле α	0 - 15	115	35
		45 - 90	200	65
R _{ср} , кН/м, длины срезаемого	Срез пластины при угле γ	60	35	65
		45	50	95

сечения пластины		90	35	65
------------------	--	----	----	----

Примечание: Расчетные несущие способности для промежуточных значений β , α , γ принимают по интерполяции.

Несущую способность МЗП N_p при растяжении находят по формуле:

$$N_p = 2R_p \cdot b$$

где b - размер пластины в направлении, перпендикулярном направлению усилия, см; R_p - расчетная несущая способность пластины на растяжение, кН/м, определяемая по таблице 3.2.4.

Несущую способность МЗП $Q_{ср}$ при срезе определяют по формуле:

$$Q_{ср} = 2R_{ср} \cdot l_{ср}$$

где $l_{ср}$ - длина среза сечения пластины без учета ослаблений, см; $R_{ср}$ - расчетная несущая способность пластины на срез, кН/м, определяемая по таблице 3.2.4.

Учет эксцентриситета приложения усилий к МЗП при расчете опорных узлов треугольных ферм осуществляется снижением расчетной несущей способности соединения умножением на коэффициент η , определяемый в зависимости от уклона верхнего пояса по таблице 3.2.5. Кроме того проверяют саму пластинку на растяжение и срез.

Таблица 3.2.5

Коэффициент η , учитывающий снижение несущей способности соединения из-за внецентренного приложения усилия к МЗП в треугольных фермах

Уклон верхнего пояса, град.	0	15	18	22	25	Более 25
Коэффициент η	1	0,85	0,8	0,7	0,675	0,65

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

$$\left(\frac{N_p}{2bR_p} \right)^2 + \left(\frac{Q_{ср}}{2l_{ср}R_{ср}} \right)^2 \leq 1$$

Площадь соединения на каждом элементе (с одной стороны от плоскости соединения) должна быть для конструкций пролетом до 12 м не

менее 50 см², а для конструкций пролетом до 18 м не менее 75 см². Минимальное расстояние от плоскости соединения элементов должно быть не менее 60 мм. МЗП следует располагать так, чтобы расстояния от боковых кромок деревянных элементов до крайних зубьев были не менее 10 мм.

Работа на выдергивание.

Гвозди сопротивляются выдергиванию только усилиями поверхностного трения между ними и древесиной гнезда. Силы трения могут уменьшиться при образовании в древесине трещин, которые снижают силу сжатия гвоздя, поэтому для гвоздей, работающих на выдергивание, обязательно соблюдение тех же норм расстановки, которые приняты для гвоздей, работающих как нагели на изгиб.

При статическом приложении нагрузки расчетную несущую способность на выдергивание одного гвоздя, забитого поперек волокон с соблюдением норм расстановки, определяют по формуле:

$$T_{\text{выд}} \leq R_{\text{выд}} \pi d_{\text{гв}} l_{\text{защ}}$$

где $R_{\text{выд}}$ - расчетное сопротивление выдергиванию на единицу поверхности соприкасания гвоздя с древесиной, которое следует принимать для воздушно-сухой древесины 0,3 МПа, а для сырой, высыхающей в конструкции, - 0,1 МПа; $d_{\text{гв}}$ - диаметр гвоздя, м; $l_{\text{защ}}$ - расчетная длина защемленной, сопротивляющейся выдергиванию части гвоздя. В деревянных конструкциях при определении $T_{\text{выд}}$ расчетный диаметр гвоздя принимают не более 5 мм, даже в случае использования гвоздей большей толщины.

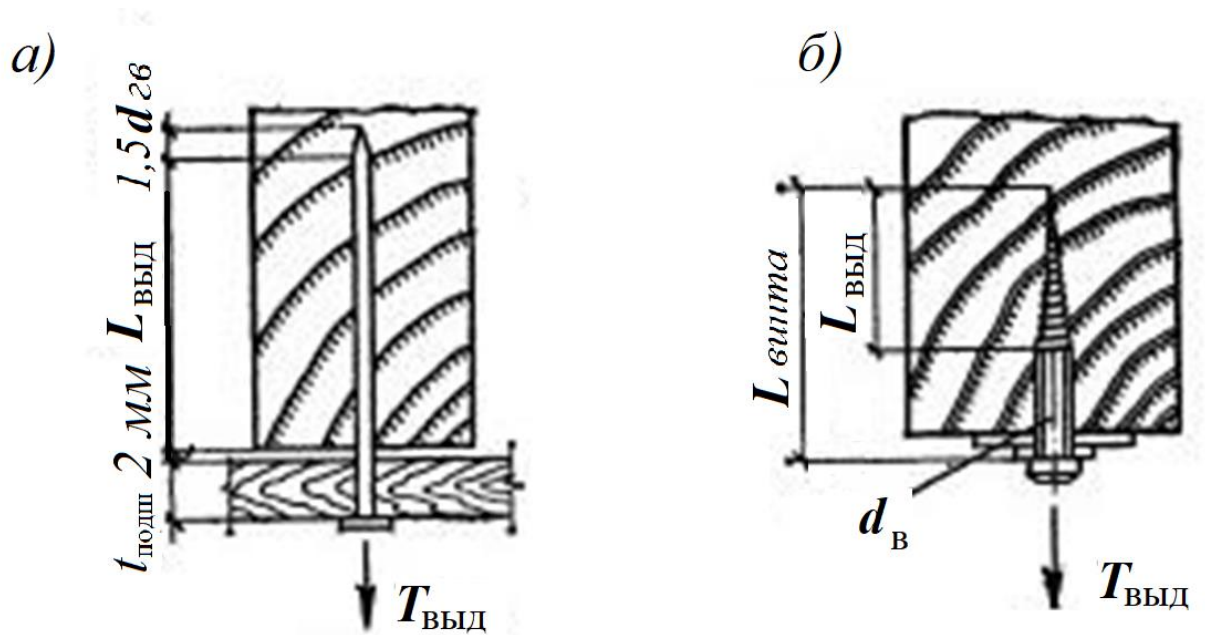


Рис. 3.2.13. Длина заземления а) гвоздей и б) шурупов, работающих на выдергивание

Расчетная длина (рис. 3.2.13) заземления гвоздя $l_{\text{защ}}$ (без учета острия $1,5 d_{\text{гв}}$) должна быть не менее $10 d_{\text{гв}}$ и не менее чем две толщины прибиваемой доски. В свою очередь толщина прибиваемой доски должна быть не менее $4d_{\text{гв}}$ (рис. 3.2.13 а).

Шурупы (винты, заворачиваемые отверткой) и глухари (винты диаметром 12-20 мм, заворачиваемые ключом) удерживаются в древесине не только силами трения, но и упором винтовой нарезки в прорезаемые в древесине винтовые желобки (рис. 3.2.13 б).

Расстановка шурупов и глухарей и размеры просверленных гнезд должны обеспечивать плотный обжим стержня глухаря древесиной без ее раскалывания. Расстояния между осями винтов в продольном направлении должны быть не менее $S_1=10d_{\text{в}}$; а поперек волокон $S_2=S_3=5d_{\text{в}}$. Диаметр прилегающей к шву части гнезда должен точно соответствовать диаметру не нарезной части стержня глухаря. Расчетную несущую способность на выдергивание шурупа или глухаря определяют по формуле:

$$T_{\text{выд}} \leq R_{\text{выд}} \pi d_{\text{винт}} l_{\text{защ}}$$

где $R_{\text{выд}}$ - расчетное сопротивление выдергиванию неразрезной части шурупа или глухаря, которое для воздушно-сухой древесины принимают 1 МПа; $d_{\text{винт}}$

- наружный диаметр нарезной части, м; $l_{\text{защ}}$ - длина нарезной части шурупа или глухаря.

Необходимо под головку подкладывать металлическую шайбу размером $3,5d_{\text{винт}} \times 3,5d_{\text{винт}} \times 0,25 d_{\text{винт}}$.

Соединения на клеенных стальных стержнях.

Применение соединений на клеенных стержнях из арматуры периодического профиля диаметром 12-25 мм, работающих на выдергивание и продавливание, допускается в условиях эксплуатации конструкций при температуре окружающего воздуха, не превышающей 35°C.

Предварительно очищенные и обезжиренные стержни клеивают составами на основе эпоксидных смол в просверленные отверстия или в профрезерованные пазы. Диаметры отверстий или размеры пазов следует принимать на 5 мм больше диаметров клеиваемых стержней.

Общие требования к соединениям на клеенных стержнях.

Соединения на клеенных стержнях являются универсальным видом соединений. Клеенные стержни используют:

- для устройства узловых сопряжений элементов плоских и пространственных конструкций (опорных узлов, поясов и решетки в фермах, ключевых шарниров в арках, рамах и т. п.);
- устройства жестких равнопрочных стыков сборных изгибаемых, растянутых, сжато-изгибаемых, растянуто-изгибаемых элементов (балок, арок, ферм, рам, зашцементированных стоек, жестких нитей, куполов, сводов и т. п.);
- анкеровки закладных деталей, воспринимающих усилия разных направлений;
- восприятия нормальных сжимающих усилий поперек и под углом к волокнам в опорных зонах и местах приложения сосредоточенных нагрузок;
- для устройства узловых соединений, воспринимающих сдвиг;
- для локализации главных растягивающих напряжений в приопорных зонах клееных деревянных конструкций и в окрестностях больших сосредоточенных нагрузок;

- увеличения несущей способности участков конструкций, в которых действуют нормальные растягивающие напряжения поперек волокон и касательные напряжения (в опираниях зон высоких балок, в зонах глубоких подрезок или ослаблений врезками, в изгибаемых элементах с криволинейной осью и др.);

- сплачивания КДК, поперечное сечение которых состоит из 2 и более элементов;

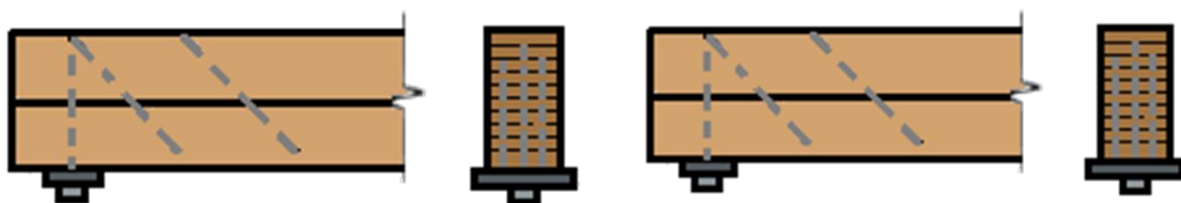
- в виде наклонно вклеенных стержней в качестве связей сдвига составных ДК, в том числе для комбинированных конструкций с деревянными балками в виде ребер и монолитной железобетонной плитой;

- для поперечного и наклонного армирования КДК с целью повышения их сдвиговой прочности и надежности, в том числе при переменном температурно-влажностном режиме эксплуатации;

- наклонного армирования с целью повышения сдвиговой выносливости.

Принципиальные конструктивные схемы соединений в узлах и стыках элементов для различных напряженно-деформированных состояний приведены на рисунке 3.2.14.

Стержни, вклеенные под углом к волокнам менее чем 20° , рассматривают как вклеенные вдоль волокон, под углом 20° и более - как вклеенные под углом к волокнам. Вклеенные поперек волокон стержни являются частным случаем стержней, вклеенных под углом к волокнам. Соединения на стержнях, вклеенных вдоль волокон древесины, допускаются только в комбинации с поперечно или наклонно вклеенными стержнями. Стержни вклеиваются в круглые отверстия или прямоугольные пазы на боковых гранях, заглубленных на 2 диаметра стержня d , но не менее чем на 25 мм.



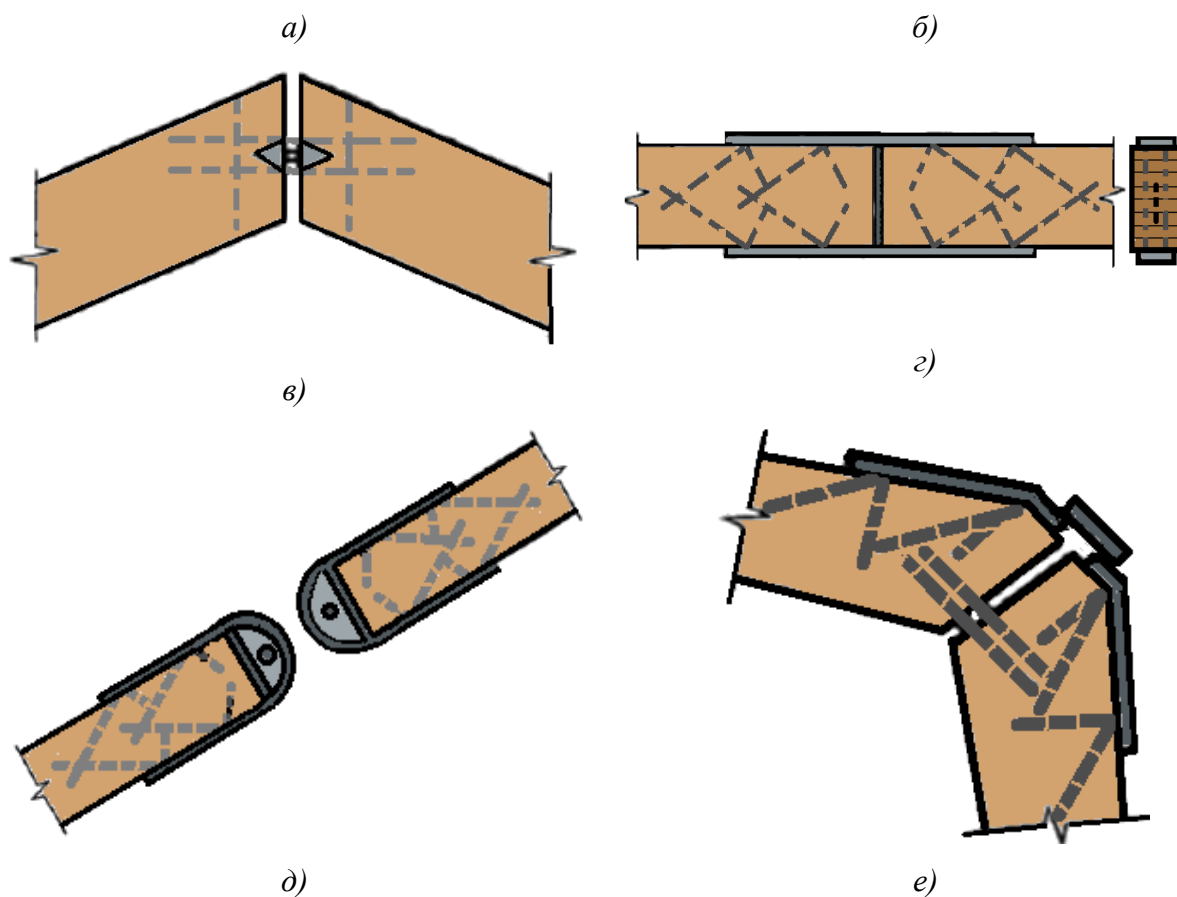


Рис. 3.2.14. Примеры соединений на наклонно вклеенных стержнях: а, б - виде связей составных элементов; в, г - опорных и других узлах конструкций; д - схема симметричного универсального жесткого стыка элементов сечением < 500 и > 600 ; е - для растянутых элементов; з - для полигональных элементов, несимметричная схема (карниз рамы)

Стержни вклеиваются в круглые отверстия или прямоугольные пазы на боковых гранях, заглубленных на 2 диаметра стержня d , но не менее чем на 25 мм. (рис. 3.2.15).

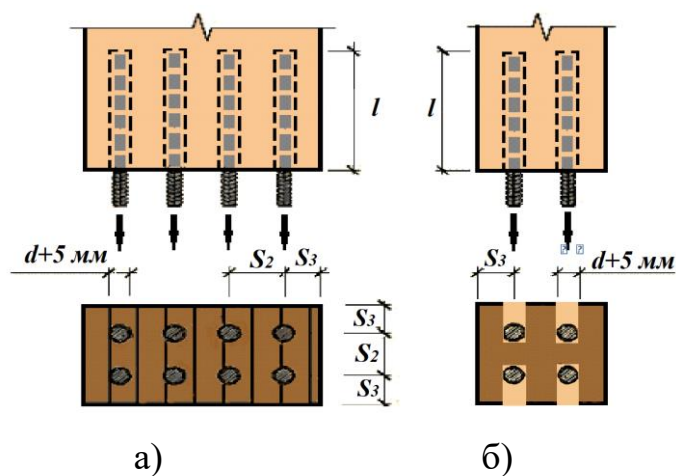


Рис. 3.2.15. Соединения на стержнях из арматуры периодического профиля, вклеенных: а) - в цилиндрические отверстия; б) - в профрезерованные пазы

Расчетную несущую способность такого стержня на выдергивание или продавливание вдоль и поперек волокон в растянутых и сжатых стыках элементов деревянных конструкций из сосны и ели следует определять по формуле

$$T = R_{\text{ск}}^p \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l \cdot k_c \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i$$

где $R_{\text{ск}}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию, МПа, определяемое по пункту 5,2 таблицы 2.1; d_1 - диаметр отверстия, м; l - длина заделываемой части стержня, м (см), которую следует принимать по расчету, но не менее $10d$ и не более $30d$; k_c - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части стержня, который следует определять по формуле:

$$k_c = 1,2 - 0,02 \frac{l}{d}$$

$m_{\text{дл}}$ и Πm_i - в соответствии с разделом 2.

Расстояние между осями вклеенных стержней, вдоль волокон следует принимать не менее $S_2 = 3d$, а до наружных граней - не менее $S_3 = 2d$.

Соединения на стержнях, вклеенных под углом к волокнам.

Расчетную несущую способность, T , МН, вклеиваемого под углом к волокнам стержня на выдергивание или продавливание в стыках КДК следует определять по формуле:

$$T = R_{\text{выд}}^p \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l \cdot k_c \cdot k_{\text{п}} \cdot m_d \cdot m_{\text{дл}} \cdot \Pi m_i$$

где $R_{\text{выд}}^p$ - расчетное сопротивление древесины выдергиванию или продавливанию вклеенного стержня, МПа, принимаемое равным 6,8 МПа; d_1 - диаметр отверстия, м; $k_{\text{п}}$ коэффициент, зависящий от знака нормальных напряжений вдоль волокон в зоне установки стержней; l_p - расчетная длина стержня, м $l_p = l - l_o \leq 30d$; l - длина заделываемой части, м; $l_o = 3d$ - глубина возможного снижения прочности клеевой прослойки при сварке; для стержней без сварки $l_o = 0$; d - диаметр вклеиваемого стержня, м; k_c -

коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части стержня, который следует определять по формуле:

$$k_c = 1,2 - 0,02 \frac{l_p}{d}$$

m_d коэффициент, учитывающий зависимость расчетного сопротивления от диаметра стержня:

$$m_d = 1,12 - 0,1d$$

Для стержней, работающих на выдергивание в зоне растягивающих напряжений, действующих вдоль волокон древесины элемента конструкции, значения коэффициента k_{Γ} следует определять по формуле:

$$k_{\sigma} = 1 - 0,001\sigma$$

где σ - максимальные растягивающие напряжения, МПа.

При работе в сжатой зоне, а также для стержней, работающих на продавливание, $k_{\sigma}=1$.

Минимальное расстояние от боковых граней пакета до оси стержня принимается не менее $2d$ и не менее 30 мм; между осями стержней по ширине пакета расстояние должно быть не менее $2d$; от торца пакета вдоль волокон до оси стержня - не менее 100 мм; между стержнями вдоль волокон при угле наклона стержней σ к направлению волокон не более 30° не менее $14d$, при α от 30° до 60° - $10d$, при α более 60° - $7,5d$.

При устройстве жестких стыков в конструкциях используют 2 типа соединений на наклонно вклеенных стержнях.

Универсальными являются анкеры V-образной формы, которые представляют собой комбинацию как минимум из 2 стержней, вклеенных наклонно по отношению к направлению волокон древесины и образующих между собой внутренний угол.

В растянутых стыках или в растянутых зонах стыков допускается применять соединения на стержнях, наклонно вклеенных в одном направлении, работающих на выдергивание и присоединенных на сварке к

стальным пластинам, передающим на древесину усилия сжатия, возникающие от разложения усилий растяжения в наклонных стержнях. Работа стержней на продавливание (сжатие) в таких узлах не допускается.

Расчетную несущую способность V-образного анкера определяют исходя из расчетной несущей способности вклеенных стержней анкеров, входящих в соединение. Усилия в каждой ветви анкера определяются путем разложения усилий от внешней нагрузки по направлениям ветвей. Внутренний угол между ветвями анкера принимается от 45° до 120° .

Проверку на прочность анкеров, сварных швов, соединительных пластин и других стальных элементов выполняют по нормам проектирования металлоконструкций.

В соединении, работающем на сдвиг, несущую способность наклонно вклеенной связи T_c вычисляют по формуле: $T_c = T \cos \alpha$

где T - несущая способность стержня, работающего на выдергивание; α - угол наклона вклеенной связи к плоскости сдвига.

В соединении, работающем на сдвиг, несущую способность наклонно вклеенной связи T_c , работающей на продавливание (сжатие), при отсутствии рядом вклеенной связи, работающей на выдергивание (растяжение), проверяют по формуле:

$$\left(\frac{N_p}{T_a}\right)^2 + \frac{Q}{T_n} \leq 1$$

где $N_p T_c \cos \alpha$ - составляющая расчетного усилия на 1 стержень T_c , МН, вызывающая в наклонных стержнях напряжения растяжения; $T_a = F_a R_a$ - расчетная несущая способность 1 стержня по условию прочности на растяжение, МН; F_a - площадь сечения стержня, м^2 ; R_a - расчетное сопротивление растяжению арматурной стали для А300 $R_a = 285$ МПа и для А400 $R_a = 375$ МПа; $Q = T_c \sin \alpha$ - составляющая того же усилия T_c - вызывающая в наклонных стержнях напряжения изгиба; T_n - расчетная несущая способность стержня на 1 шов из условия его работы на изгиб, МН,

принимается:

а) при жестком (сварном) соединении вклеенного стержня со стальной накладкой или анкерной полосой:

$$- T_n = 80d^2 m_{\text{ол}} \Pi_{mi} - \text{для арматуры А300};$$

$$- T_n = 105d^2 m_{\text{ол}} \Pi_{mi} - \text{для арматуры А400};$$

б) при нежестком болтовом соединении вклеенного стержня со стальной накладкой:

$$- T_n = 60d^2 m_{\text{ол}} \Pi_{mi} - \text{для арматуры А300};$$

$$- T_n = 75d^2 m_{\text{ол}} \Pi_{mi} - \text{для арматуры А400};$$

где d - номинальный диаметр стержня, м.

При определении числа вклеенных стержней или анкеров необходимо учитывать коэффициент их совместной работы $k_{c.p}$:

- при 1 анкере или 1 наклонном стержне с одной стороны стыка и на одной грани $k_{c.p} = 1$;

- 2 анкерах или 2 наклонных стержнях $k_{c.p} = 0.9$;

- большем количестве анкеров или стержней $k_{c.p} = 0.75$.

Наклонно вклеенные стержни расположены в соединениях таким образом, чтобы в них возникали (в основном) растягивающие усилия. Возникающие при этом (от разложения сил) сжимающие усилия должны передаваться на древесину соединительными жесткими пластинами или специально вклеенными стержнями с соответствующей проверкой расчетом.

Податливость соединений на наклонно вклеенных стержнях составляет 0,001 мм/кН.

Соединения на вклеенных стальных нагелях.

Расчетную несущую способность на сдвиг T_n , кН, (таб. 3.2.6) вклеенного в древесину цилиндрического нагеля из стальной арматуры периодического профиля (рис. 3.2.16) на 1 шов соединения элементов из сосны и ели при глубине заделки $l_n \geq 6d$ в направлении усилий вдоль волокон следует

определять. Максимальным значениям T_n соответствует $l_n \geq 8d$, где номинальный диаметр стержня d и глубина заделки l , см.

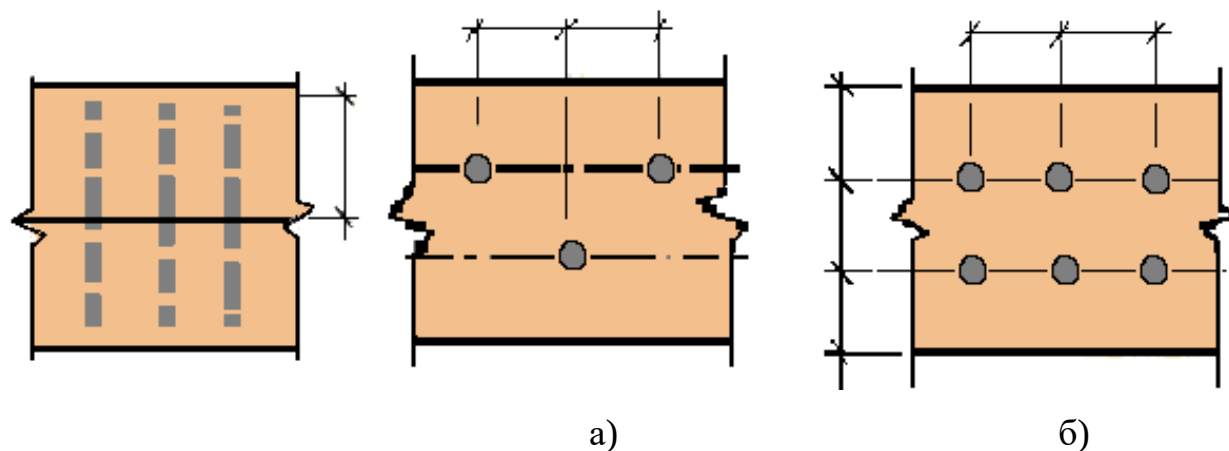


Рис. 3.2.16. Соединение на клеенных стальных нагелях а) - шахматная расстановка; б) - двухрядная расстановка

Таблица 3.2.6.

Расчетная несущая способность T на 1 шов сплачивания клеенных стальных нагелей

Схема соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность T на 1 шов сплачивания (условный срез), кН
1 Симметричные соединения	а) Смятие в средних элементах	$0,75cd_0$
	б) Смятие в крайних элементах	$1,2ad_0$
2 Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0,53cd_0$
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0,5c$	$0,38cd_0$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,35c$	$0,8ad_0$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0,35c$	$1,5 k_n ad_0$
3 Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб нагеля из арматуры А300 б) Изгиб нагеля из арматуры А400	$2,5d^2 + 0,025 l_n^2$ Но не более $3,9d^2$ $3,1d^2 + 0,025 l_n^2$ Но не более $4,5d^2$

Примечания

1. В таблице приведены следующие обозначения: s - толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений; a - толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений; d - номинальный диаметр вклеенного нагеля; d_o - диаметр отверстия; все размеры выражены в сантиметрах.

2. Расчет нагельных соединений на скалывание производить не следует, если выполнены условия расстановки нагелей в соответствии с п. 8.55 СП 64.13330.2017.

Расстояния между осями вклеенных нагелей при их расстановке следует принимать вдоль волокон древесины S_1 не менее $8d_o$, поперек волокон S_o не менее $3d_o$ и от кромки элемента S_3 не менее $3d_o$. При шахматной расстановке нагелей минимальные расстояния $S_2=S_3 \geq 3d_o$.

3.2.3 Соединения на клеях.

Требования, предъявляемые к клеям для несущих конструкций.

Равнопрочность, монолитность и долговечность клеевых соединений в деревянных конструкциях могут быть достигнуты только применением, водостойких конструкционных клеев. Долговечность и надежность клеевого соединения зависят от устойчивости адгезионных связей, вида клея, его качества, технологии склеивания, эксплуатационных условий и поверхностной обработки досок.

Клеевой шов должен обеспечивать прочность соединения, не уступающую прочности древесины на скалывание вдоль волокон и на растяжение поперек волокон. Прочность клеевого шва, соответствующую прочности древесины на растяжение вдоль волокон, пока еще не удается получить, поэтому в растянутых стыках площадь склеиваемых поверхностей приходится увеличивать примерно в 10 раз косой срезкой торца на ус или на зубчатый шип.

После отверждения конструкционного клея от сформировавшегося клеевого шва требуется не только равнопрочность и монолитность, но и водостойкость, теплостойкость и биостойкость. При испытаниях разрушение опытных образцов клеевых соединений должно происходить в основном по склеиваемой древесине, а не по клеевому шву.

Виды клеев.

Имеется набор синтетических клеев, которые позволяют соединять деревянные строительные детали не только с деревом, но и с синтетическими полимерными материалами и даже с металлическими деталями. В отличие от казеиновых и других белковых клеев синтетические конструкционные клеи образуют прочный водостойкий клеевой шов в результате реакции полимеризации или поликонденсации. В настоящее время в основном применяют резорциновые, фенольно -новые, алкил резорциновые, фенольные клеи. Согласно СП 64.13330.2017 выбор типа клея зависит от температурно-влажностных условий, при которых будут эксплуатироваться клеевые конструкции. Клеи, используемые для склеивания древесины, LVL и фанеры в КДК, должны соответствовать таблице 3.2.7.

Таблица 3.2.7

Клеи, используемые для склеивания древесины, LVL и фанеры в КДК

Тип клея	Склеиваемый материал	Класс функционального назначения	Класс эксплуатации	Примеры клеев
1	Древесина, древесные плитные материалы	1-3	1-4	На основе резорцин-фенолформальдегидных смол или меламина с предварительным перемешиванием компонентов
2		1б-3	1-3	На основе меламина с отдельным нанесением компонентов на склеиваемые поверхности
3		2б-3	1,2	На основе карбамидных смол, двухкомпонентные ЭПИ клеи повышенной водостойкости, полиуретановые
4	Древесина с металлом	1-3	1-3	На основе эпоксидных смол

Чем суше и тоньше склеиваемые доски, тем меньше опасность образования в них трещин. Если усушечное коробление недосушенных досок произойдет еще до отверждения клеевого шва, но после прекращения давления прессы, то склеивание будет необратимо нарушено, хотя возможно, что этот брак обнаружится, когда трещина раскроется по клеевому шву.

Виды соединений на клею.

Растянутый стык клееных элементов в заводских условиях изготавливают на зубчатый шип (рис. 3.2.17) с уклоном склеиваемых поверхностей зуба примерно 1:10. Это унифицированное решение, по прочности не уступающее решению стыка на ус (при том же уклоне), более экономично по затрате древесины и более технологично в производстве; оно полностью заменило при заводском изготовлении все остальные виды стыков.

Рекомендуется использовать наиболее технологичный вариант с нарезкой шипов перпендикулярно пласти. Этот вариант применим при любой ширине склеиваемых досок.

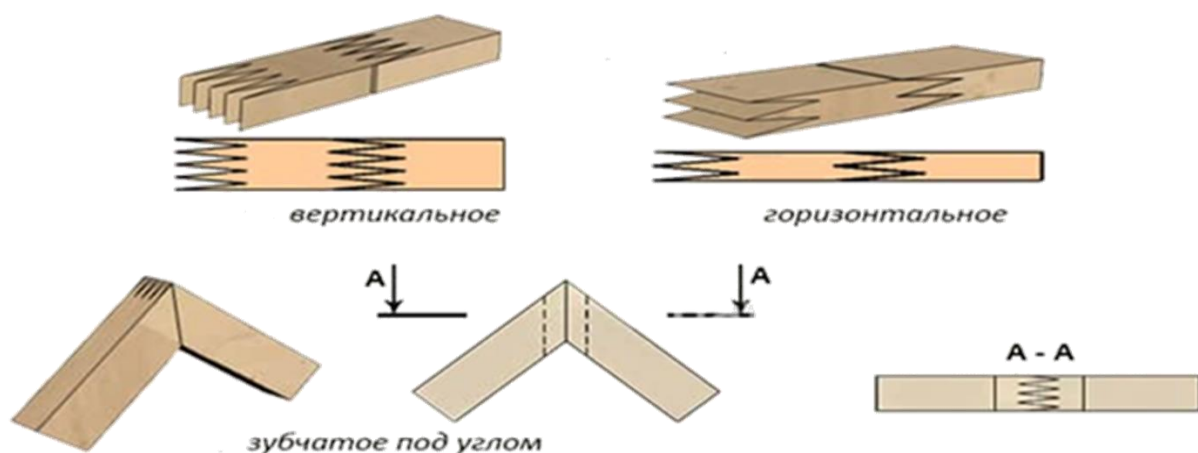


Рис. 3.2.17 Соединение на зубчатый шип

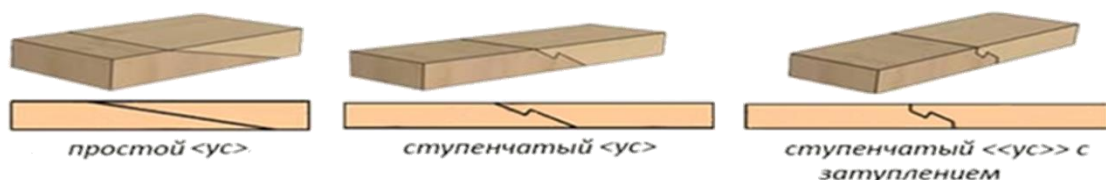


Рис. 3.2.18. Соединение на «ус»

Для сращивания фанерных листов в заводском производстве таким же унифицированным неразборным видом соединения служит стыковое

соединение на «ус» (рис. 3.2.18), его применение в напряженных элементах конструкций требует соблюдения следующих условий: длину уса принимают равной 10-12 толщинам фанеры, а направление волокон наружных шпонов (рубашек) должно совпадать с направлением действующих усилий. Ослабление обычной фанеры стыком на «ус» учитывают коэффициентом $K_{осл}=0.6$, а бакелизированной фанеры коэффициентом 0.8.