

Лекция №13.

Тема: «Расчет элементов деревянных конструкций».

1. Основные виды напряженного состояния элементов деревянных конструкций.
2. Расчет центрально-растянутых элементов.
3. Расчет центрально-сжатых элементов.
4. Расчет изгибаемых элементов.
5. Расчет опорных площадок элементов, работающих на смятие/сжатие древесины поперек волокон
6. Соединения элементов деревянных конструкций.

Прочность деревянных конструкций зависит от прочности составляющих их досок, брусьев и бревен, наличия пороков древесины, которые ослабляют прочность.

По своему строению древесина имеет пористое строение, вследствие этого она является анизотропным материалом, и имеет отличающиеся механические свойства по различным направлениям. Максимального значения прочность древесины достигает, когда направление действующей силы совпадает с направлением волокон, с увеличением угла между действующей силой и направлением волокон прочность древесины уменьшается в несколько раз.

Расчёт растянутых элементов.

Центрально-растянутый элемент - элемент, который подвержен осевому растяжению вдоль центральной оси $x-x$, совпадающей с направлением волокон древесины (Рисунок 13.1). К элементам подверженным осевому растяжению можно отнести элементы решетки ферм, элементы связей, растянутые элементы каркасных стен и т.п.

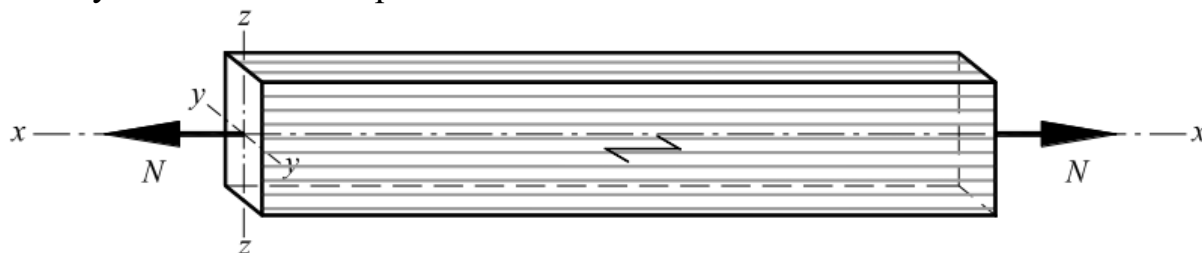


Рисунок 13.1 - Центрально-растянутый элемент

Растянутый элемент должен быть проверен в самой слабой точке, которой обычно является место соединения. После того, как соединения рассчитаны, элемент должен быть проверен с учетом фактической площади сечения нетто.

В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 расчетное значение растягивающего напряжения в элементе должно быть меньше, чем расчетное значение прочности при растяжении:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

где $\sigma_{t,0,d}$ - расчетное растягивающее напряжение вдоль волокон;

$f_{t,0,d}$ - расчетная прочность древесины при растяжении вдоль волокон.
Расчетное растягивающее напряжение $\sigma_{t,0,d}$ определяется по формуле:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{net}}$$

где N_d - расчетное значение осевого усилия;

A_{net} - площадь нетто сечения с учетом ослаблений в соединении.

Сопротивление чистой древесины растяжению вдоль волокон весьма велико; в среднем для сосны около $R=100$ МПа. При кратковременном нагружении деформации возрастают пропорционально напряжению почти до момента разрушения, т.е. закон Гука соблюдается до конца разрушения. Тем не менее, за предел пропорциональности принимается нагрузка равная 0,5 от временного сопротивления. Разрушение наступает при очень малой относительной деформации равной 0,7%. Этот факт показывает, что древесина при растяжении вдоль волокон работает подобно хрупким материалам, т.е. более напряженные волокна разрушаются почти мгновенно, передавая свою долю растягивающих усилий оставшимся волокнам.

Прочность пиломатериала на растяжение существенно снижается за счет неоднородности древесины. В зоне сучков, отверстий концентрируются напряжения, величина которых зависит от размера. При наличии наклона волокон (косослой) растягивающее усилие раскладывается на две составляющие: вдоль наклонно расположенных волокон и перпендикулярно к ним, что вызывает растяжение поперек волокон. Чем больше наклон волокон, тем больше составляющая растягивающих усилий поперек волокон и тем меньше прочность элемента, т.к. прочность древесины поперек волокон при растяжении в 25-30 раз меньше, чем вдоль волокон. В связи с этим при проектировании конструкций необходимо избегать приложения усилий, действующих поперек волокон.

Расчет сжатых элементов.

К центрально сжатым элементам относятся такие элементы конструкций, в которых сжимающая нагрузка направлена вдоль центральной оси $x-x$ элемента, совпадающей с направлением волокон древесины (Рисунок 13.2). Такие элементы используются в качестве колонн, стоек, элементов каркаса в стенах или раскосах стропильных ферм.

Прочность элементов подверженных осевому сжатию зависит от нескольких факторов:

- прочности на сжатие и модуля упругости древесины;
- размеров поперечного сечения и длины;
- условий закрепления;
- геометрических несовершенств (отклонений от номинальных размеров, начальной кривизны и т.п.);
- изменений свойств материала и несовершенств (плотность, податливость узлов, влагосодержание).

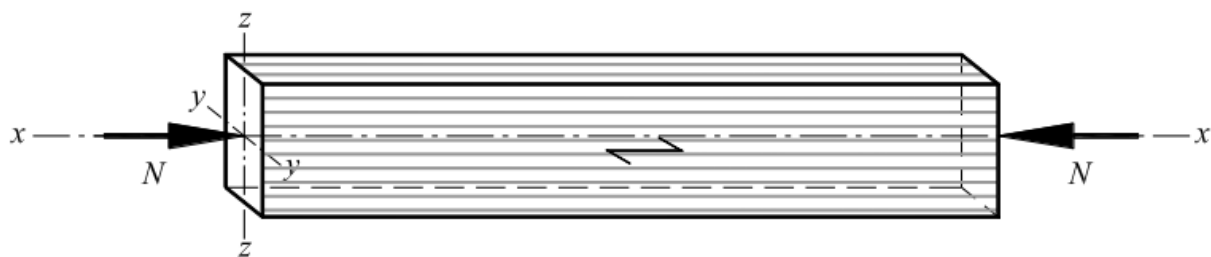


Рисунок 13.2 – Центрально-сжатый элемент

Древесина работает на сжатие более надежно, чем на растяжение, но не вполне упруго. Примерно до половины предела прочности древесина работает упруго, а рост деформаций происходит по закону, близкому к линейному. При дальнейшем увеличении напряжений деформации растут быстрее, чем напряжения, указывая на упругопластическую работу древесины. Разрушение образцов происходит пластично в результате потери местной устойчивости, о чем свидетельствует характерная складка на образце. Поэтому сжатые элементы работают более надежно, чем растянутые, и разрушаются только после заметных деформаций.

Пороки реальной древесины меньше снижают прочность сжатых элементов, т.к. сами воспринимают часть сжимающих напряжений.

Сжатые элементы конструкций имеют длину, как правило, намного большую, чем размеры поперечного сечения, и разрушаются не как малые стандартные образцы, а в результате потери устойчивости, которая происходит раньше, чем напряжения сжатия достигнут предела прочности. При потере устойчивости сжатый элемент выгибается в сторону. При дальнейшем выгибе на вогнутой стороне появляются складки, свидетельствующие о разрушении древесины от сжатия, на выпуклой стороне древесина разрушается от растяжения.

При осевом нагружении, вследствие несовершенства геометрии элемента или изменений его свойств, а также комбинации обоих факторов, величина гибкости λ элемента возрастает и увеличиваются перемещения в поперечном направлении, что в конечном счете приводит к разрушению в результате потери устойчивости, как показано на Рисунке 13.3.

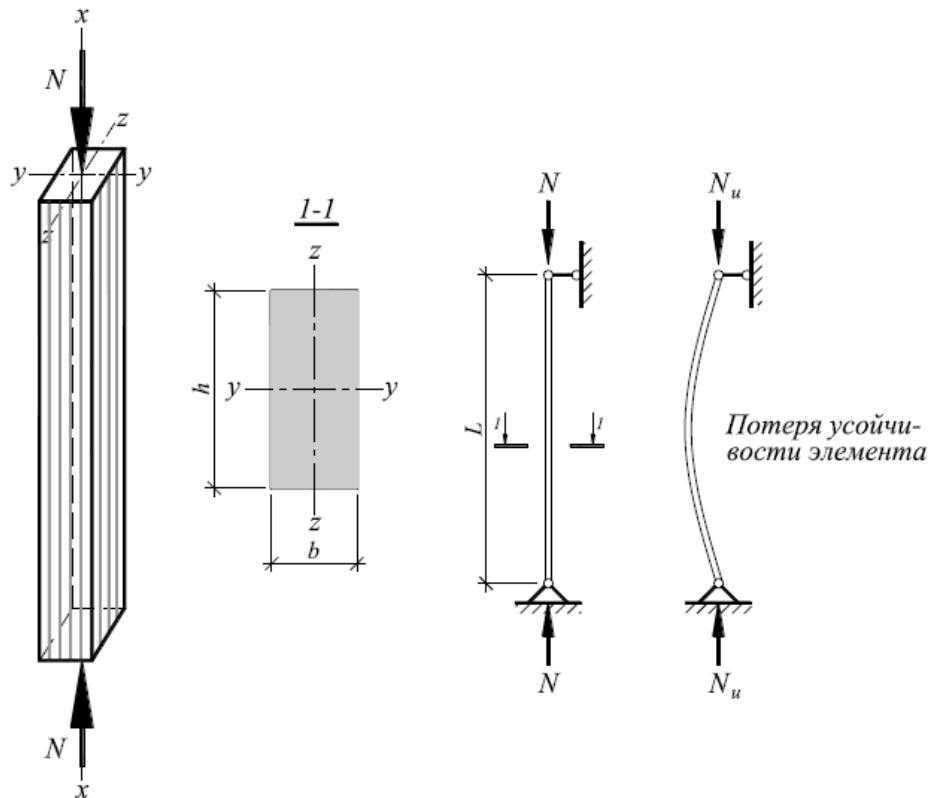


Рисунок 13.3 – Сжатие элемента

Гибкость элемента следует определять по формуле:

$$\lambda = \frac{L_e}{i}$$

где L_e – расчетная длина элемента;

i – радиус инерции относительно оси, который определяется как $i = \sqrt{I/A}$,

I - момент инерции сечения;

A - площадь поперечного сечения элемента.

При расчете сжатых элементов необходимо использовать величины гибкости λ_y относительно оси у-у и λ_z относительно оси z-z. В случае, когда поперечное сечение элемента имеет прямоугольную форму, соответствующую гибкость определяют по формулам;

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i} = \frac{L_{e,y}}{h/\sqrt{12}} \quad \text{и} \quad \lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i} = \frac{L_{e,z}}{b/\sqrt{12}}$$

где $L_{e,y}$ и $L_{e,z}$ – расчетные длины элемента относительно осей у-у и z-z, соответственно

Потеря устойчивости элемента произойдет относительно оси с наибольшим значением гибкости.

Расчетная длина L_e элемента определяется из выражения

$$L_e = \mu_0 * L$$

где L – полная длина элемента;

L_e – расчетная длина элемента, которая зависит от схемы закрепления концов и распределения нагрузки по его длине;

μ_0 – коэффициент, учитывающий условия закрепления элемента, который принимают равным:

- 1) в случае загрузки продольными силами по концам элемента:
 - при шарнирно-закрепленных концах, а также при шарнирном закреплении в промежуточных точках элемента, $\mu_0 = 1$;
 - при одном шарнирно-закрепленном и другом защемленном конце – 0,8; при одном защемленном и другом свободном конце, $\mu_0 = 2,2$;
 - при обоих защемленных концах, $\mu_0 = 0,65$;
- 2) в случае распределенной равномерно по длине элемента продольной нагрузки:
 - при обоих шарнирно-закрепленных концах, $\mu_0 = 0,73$;
 - при одном защемленном и другом свободном конце, $\mu_0 = 1,2$.

В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 расчетное значение напряжения при сжатии в элементе должно быть меньше, чем расчетное значение прочности при сжатии:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

где $\sigma_{c,0,d}$ - расчетное напряжение при сжатии вдоль волокон;

$f_{c,0,d}$ - расчетная прочность древесины при сжатии вдоль волокон.

Расчетное напряжение при сжатии вдоль волокон определяется по формуле:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}$$

где N_d - расчетное значение осевого усилия;

A - площадь поперечного сечения элемента.

Расчет изгибаемых элементов.

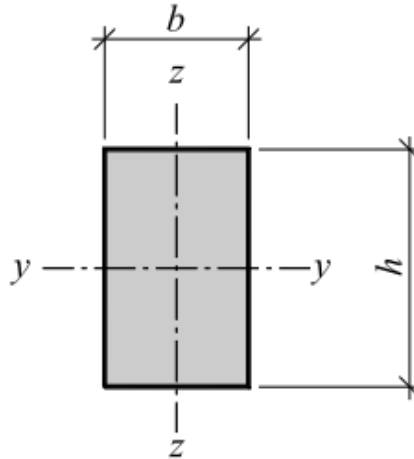
Изгибаемые элементы – это балки, настилы, обшивки. В изгибаемом элементе от нагрузок, действующих поперек его продольной силы, возникают изгибающие моменты и поперечные силы.

Расчеты изгибаемых элементов выполняются по предельным состояниям несущей способности и предельным состояниям эксплуатационной пригодности. Для изгибаемых элементов расчет по предельным состояниям несущей способности должен состоять из проверки сохранения статического равновесия (скольжение или отрыв элемента) и проверки условия прочности (при изгибе, сдвиге и смятии), а по предельным состояниям эксплуатационной пригодности – проверки условия перемещений и колебаний.

От действия изгибающего момента в сечениях элемента возникают напряжения изгиба, которые состоят из сжатия в верхней половине сечения и растяжения в нижней. Нормальные напряжения в сечениях распределяются неравномерно по высоте.

Пороки древесины, длительное действие нагрузок уменьшают прочность изгибаемых элементов из реальной древесины, как и при сжатии.

Изгибаемые элементы работают еще более надежно, чем сжатые, и предупреждают об опасности разрушения заранее большими прогибами.



Для элемента, изгибаемого только относительно оси y-y, должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Для элемента, изгибаемого только относительно оси z-z и обеспечении его устойчивости в поперечном направлении, должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Для прямоугольного сечения шириной b и высотой h расчетные напряжения при изгибе относительно главной (y-y) и второстепенной (z-z) осей определяются по формулам

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$
$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

где $M_{y,d}$ и $M_{z,d}$ - расчетные изгибающие моменты относительно главной (y-y) и второстепенной (z-z) осей;

W_y и W_z - моменты сопротивления относительно главной (y-y) и второстепенной (z-z) осей.

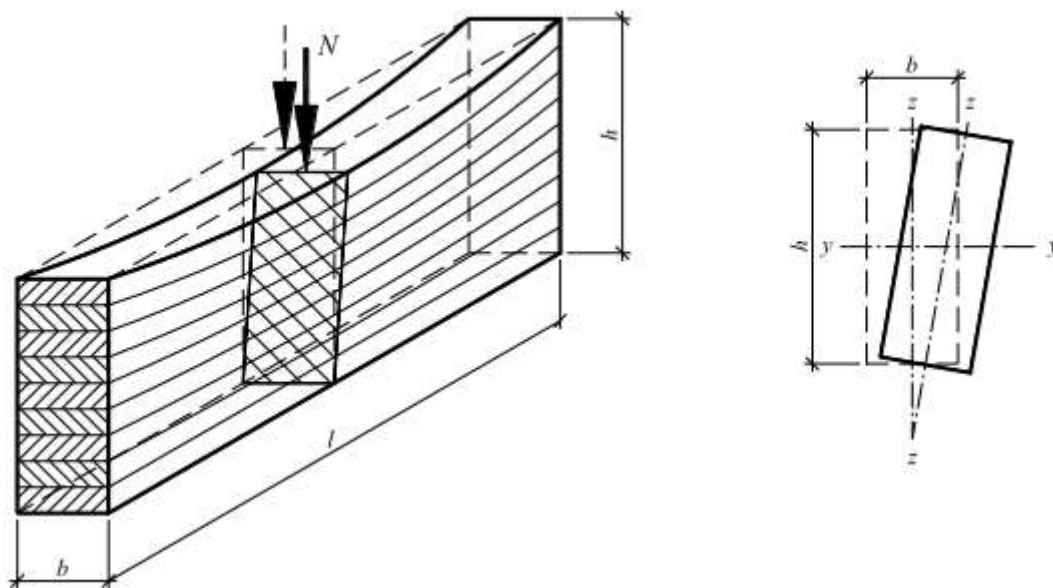


Рисунок 13.4 - Общий вид потери устойчивости плоской формы деформирования

Расчет опорных площадок элементов, работающих на смятие/сжатие древесины поперек волокон.

Опорные площадки балок, ребер плит покрытий и перекрытий, прогонов и т.п. должны проверяться на прочность по смятию/сжатию древесины поперек волокон. При сжатии поперек волокон должно соблюдаться следующее условие:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d}$$

где $\sigma_{c,90,d}$ - расчетное напряжение при сжатии поперек волокон;

$k_{c,90}$ - коэффициент, учитывающий характер распределения нагрузки, риск раскалывания и деформации элемента при его сжатии поперек волокон;

$f_{c,90,d}$ - расчетная прочность древесины при сжатии поперек волокон.

Расчетное значение напряжения сжатию поперек волокон определяется из выражения

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

где $F_{c,90,d}$ - расчетное сжимающее усилие;

A_{ef} - эффективная площадь контакта перпендикулярно волокнам древесины, равная bl ;

b – ширина площадки контакта;

l – длина площадки контакта;

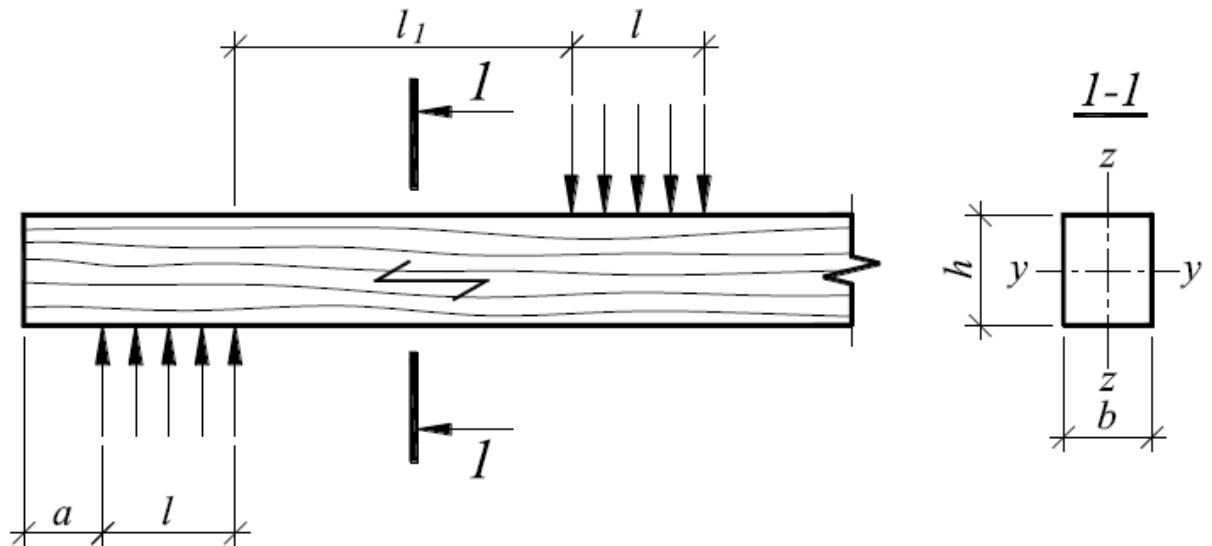


Рисунок 13.5 - Схема опирания элемента на отдельные опоры

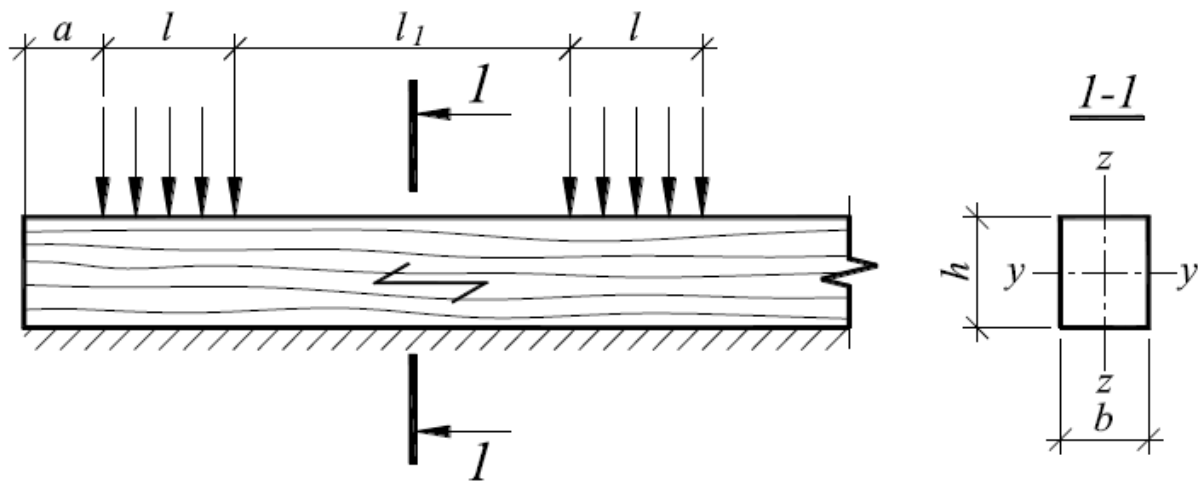


Рисунок 13.6 - Схема опирания элемента на сплошную опору

Все соединения, используемые в деревянных конструкциях, по способу передачи нагрузки можно разделить на следующие виды:

- соединения, в которых усилия передаются непосредственным упором контактных поверхностей соединяемых элементов (примыкание в опорных частях элементов, врубки и т.п.);
- соединения на механических связях;
- соединения на клеях.

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. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 рассматриваются соединения элементов деревянных конструкций с использованием таких механических связей, как шпонки, нагели, болты, гвозди, шурупы и винты, скобы, шайбы шпоночного типа, нагельные пластинки и металлические зубчатые пластины.

Используемые в соединениях элементов деревянных конструкций гвозди, по типу стержня подразделяются на гладкие гвозди, гвозди с кольцевой и винтовой накаткой, а по форме поперечного сечения – на круглые и квадратные. Гвоздь с винтовой накаткой обеспечивает более легкое вхождение в волокна древесины, что позволяет исключить расколы в пробиваемой древесине или материалах на ее основе.

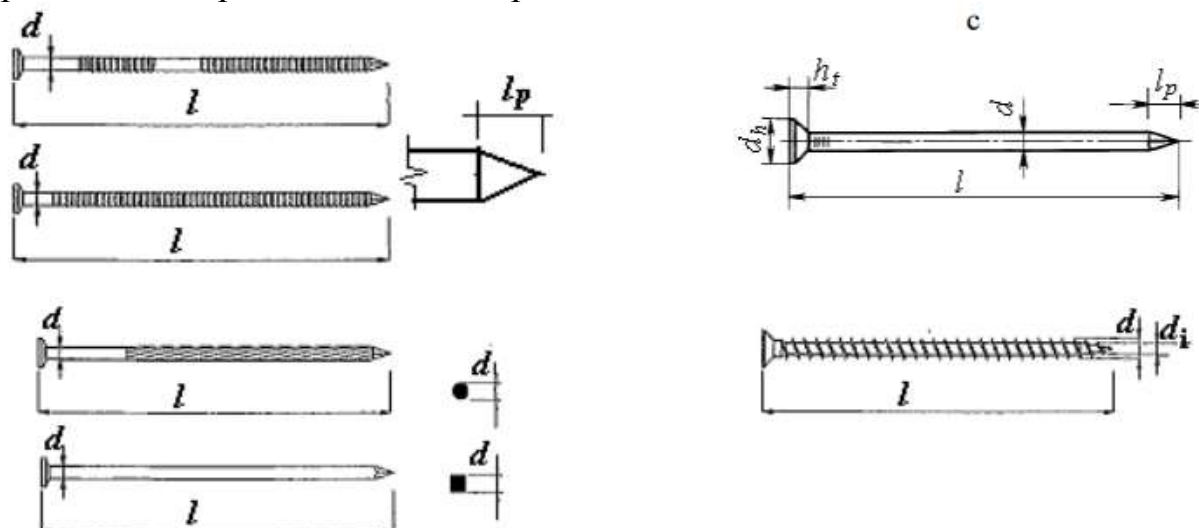
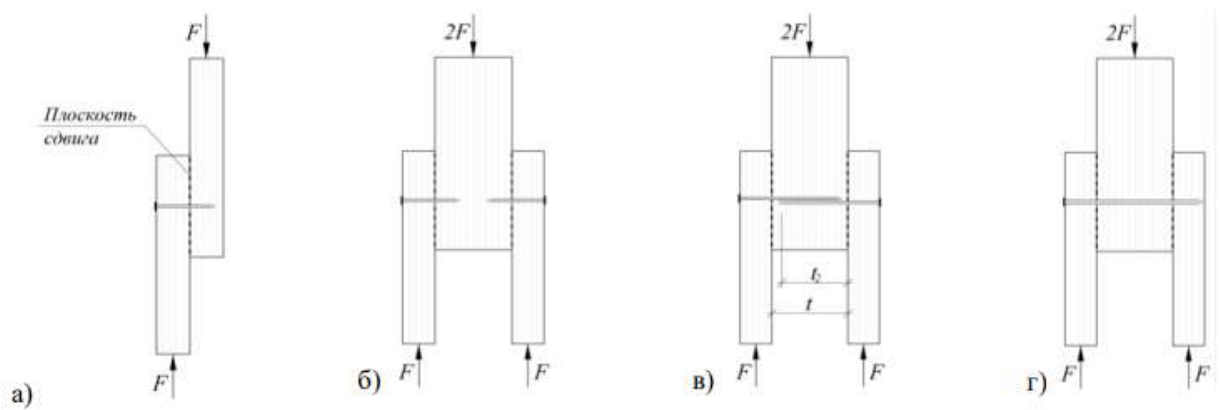


Рисунок 13.7 – Типы гвоздей

Винты подразделяются на шурупы, самонарезающие винты, или саморезы и винты заворачиваемые в предварительно просверленные отверстия. Винты со стержнем конической формы чаще всего называют шурупами, а цилиндрической – винтами. Винты должны всегда быть закреплены путем ввинчивания в древесину, но не путем забивки.

Нагели – цилиндрические стержни, изготавливаемые в основном из стали. Они имеют гладкую или бороздчатую поверхность. Диаметр нагелей может быть от 6 до 30 мм. Болты – нагели с резьбой, с шестиугольными или полусферическими головками и шестиугольными гайками. Диаметр болтов, используемых в соединениях элементов деревянных конструкций, может достигать 30 мм. Нагели и болты, в основном, используются для восприятия в соединениях больших сдвигающих усилий между соединяемыми элементами по сравнению с гвоздями и шурупами.

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 «нагель» – общее обозначение, используемое для крепежных элементов, которые распределяют нагрузку между соединяемыми элементами из комбинации изгибающей, и сдвигающей нагрузки в нагеле и сдвигающей и сминающей нагрузки (называемой вдавливанием) в древесине.



а), б) и в) – примеры односрезных соединений с плоскостью сдвига по крепежному элементу;
 г) – пример двухсрезного соединения с двумя плоскостями сдвига по крепежному элементу

Рисунок 13.8 – Металлические связи в соединениях нагельного типа

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные виды напряженного состояния элементов деревянных конструкций.
2. Опишите особенности расчета центрально-растянутых элементов.
3. Опишите особенности расчета центрально-сжатых элементов.
4. Опишите особенности расчета изгибаемых элементов.
5. Какие виды соединений применяют для деревянных конструкций?