

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ»**

А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич



## **Деревянные стропильные системы**

Учебное пособие  
для студентов строительных специальностей и специалистов,  
занимающихся проектированием деревянных конструкций

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области строительства и архитектуры*

Брест 2024

УДК 624.011/.014(035)

ББК 38.5 я 2

В64

Рецензенты:

Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»  
Белорусского национального технического университета (зав. кафедрой,  
доктор технических наук, профессор С. Н. Леонович);  
филиал РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр  
(зам. директора, кандидат технических наук В. А. Лебедь)

**Найчук А. Я.**

**В64** Деревянные стропильные системы: учебное пособие для студентов строительных специальностей / А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич; под ред. А. Я. Найчука. – Брест : БрГТУ, 2024. – 76 с.

**ISBN 978-985-493-627-7**

Рассматриваются вопросы классификации, области применения, конструирования и расчета деревянных стропильных систем в соответствии с требованиями и правилами ТНПА, действующими на территории Республики Беларусь по состоянию на 01 января 2024 года.

Пособие состоит из введения, терминов и определений, обозначений, пяти разделов, приложения и списка используемых источников.

В первом разделе приведены общие сведения о крышах зданий, дана их классификация. Во втором разделе приведены сведения о характеристиках скатных крыш, стропильных деревянных систем и рекомендации по их применению. Третий и четвертые разделы посвящены описанию и анализу конструктивных решений элементов и узловых соединений наслонной и висячей стропильной системы. Пятый раздел содержит рекомендации по конструированию и расчету элементов стропильных систем, а также пример конструирования и расчета элементов наслонной стропильной системы.

Пособие предназначено для использования студентами строительных специальностей при изучении курса «Конструкции из дерева и пластмасс», выполнении курсового проекта по данной дисциплине или дипломного проекта с применением деревянных конструкций, а также специалистами, занимающимися проектированием деревянных конструкций.

УДК 624.011/.014(035)

ББК 38.5 я 2

ISBN 978-985-493-627-7

© Коллектив авторов, 2024

© Издательство БрГТУ, 2024

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	4
<b>Термины и определения</b> .....	5
<b>Обозначения</b> .....	7
<b>1 Крыши зданий и их формы</b> .....	13
<b>2 Скатные крыши</b> .....	14
<b>3 Наслонные стропильные системы</b> .....	17
3.1 Конструктивные схемы наслонных стропильных систем .....	17
3.2 Узлы соединения элементов наслонных стропильных систем .....	21
<b>4 Висячие стропильные системы</b> .....	24
4.1 Конструктивные схемы висячих стропильных систем .....	24
4.2 Узлы соединения элементов висячих стропильных систем .....	26
<b>5 Рекомендации по конструированию и расчету деревянных стропильных систем</b> .....	30
5.1 Разработка и компоновка геометрической формы крыши .....	31
5.2 Определение значений нагрузок .....	31
5.3 Определение значений прочностных и упругих характеристик материалов элементов стропильной системы .....	36
5.4 Определение значений внутренних усилий и перемещений в сечениях элементов стропильной системы .....	36
5.5 Проверка предельных состояний несущей способности элементов стропильной системы .....	47
5.6 Конструирование и расчет узловых соединений элементов стропильной системы .....	53
5.7 Пример конструирования и расчета двускатной безраспорной наслонной стропильной системы .....	61
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b> .....	72
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b> .....	73
<b>Список использованных источников</b> .....	75

## Введение

Целью данного учебного пособия (далее – пособие) является закрепление у студентов теоретических знаний, полученных в процессе изучения курса по дисциплинам «Конструкции из дерева и пластмасс», «Архитектурные конструкции», «Архитектура» и приобретения практических навыков проектирования деревянных стропильных систем строительных сооружений в соответствии с требованиями технических нормативно-правовых актов (ТНПА) Республики Беларусь.

Данное пособие является методическим документом, направленным на краткое и исчерпывающее изложение положений ТНПА, которыми необходимо руководствоваться при проектировании деревянных стропильных систем, изготовленных из пиломатериалов, клееной древесины и клееной древесины из шпона (LVL).

В пособии приводятся рекомендации по конструированию и расчету элементов стропил и их узловых соединений.

Данное пособие может быть использовано не только студентами, но и специалистами проектных организаций при проектировании строительных сооружений, где в качестве несущих конструкций крыш используются стропильные системы, изготовленные из древесины и материалов на ее основе.

Разработанное пособие по проектированию деревянных стропильных систем базируется на положениях и правилах, изложенных в СП 5.05.01 «Деревянные конструкции», СН 2.01.01 «Основы проектирования строительных конструкций», СН 2.01.02 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий», СН 2.01.04 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки», СН 2.01.05 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия», СН 2.01.06 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия», а также личном опыте авторов данного пособия, приобретенном при проектировании и исследовании деревянных конструкций.

Пособие состоит из введения, терминов и определений, обозначений, пяти разделов, приложения и списка используемых источников.

В первом разделе приведены общие сведения о крышах зданий. Приведена классификация крыш в зависимости от профиля. Даны рекомендации по использованию той или иной формы крыши здания в зависимости от формы его плана.

Второй раздел посвящен общим характеристикам скатных крыш зданий, где приведена классификация стропильных систем в зависимости от статической работы основных несущих элементов, приведены рекомендуемые уклоны скатных крыш и применение соответствующего типа обрешетки в зависимости от вида кровельного материала, а также даны рекомендации по применению той или иной обрешетки.

В третьем разделе приведено описание наслонной стропильной системы, дана классификация в зависимости от ее статической работы, приведены примеры конструирования узловых соединений элементов стропильной системы.

В четвертом разделе приведено описание висячей стропильной системы, даны рекомендации по конструированию узловых соединений.

В пятом разделе изложены основные рекомендации по определению расчетных значений прочностных и упругих характеристик материалов, применяемых в стропильных системах, расчетных значений нагрузок и их сочетаний, схем нагружения стропильных систем. Приведены рекомендации по конструированию и расчету элементов стропильных систем и их узловых соединений (опорных и коньковых), а также даны некоторые разъяснения ряда положений и правил ТНПА по их применению при проектировании.

В приложениях приведены значения коэффициентов свойств материалов и модификации, а также прочностных, упругих характеристик и удельного веса пиломатериалов, дощатоклееной древесины.

## Термины и определения

В настоящем пособии применяются следующие термины и определения:

**кровля (покрытие)** – верхний элемент покрытия, предохраняющий здание от проникновения осадков;

**крыша** – часть здания, ограничивающая сверху внутреннее пространство верхнего (мансардного) этажа или чердака и защищающая внутреннее пространство здания, конструкции и элементы от атмосферных и других внешних воздействий;

**чердак** – пространство между поверхностью крыши, наружными стенами и перекрытием верхнего этажа;

**мансарда** – жилое отапливаемое (или неотапливаемое) помещение в чердачном пространстве, фасад которого полностью или частично образован поверхностью (поверхностями) наклонной или ломаной крыши;

**стропильная система** – несущая система скатной крыши, состоящая из наклонных стропильных ног, вертикальных стоек и наклонных подкосов;

**мауэрлат** – элемент кровельной системы здания;

**слега** – несущий элемент крыши – деревянная балка опирающаяся на торцовые стены и уложенная параллельно верху продольных стен;

**обрешётка** – решётчатая конструкция или сплошной настил, устраиваемый поверх стропильных ног;

**металлочерепица** – кровельный материал, представляющий собой листы, изготовленные из тонколистовой стали, алюминия или меди, покрытые полимерным защитным слоем, профилированные методом холодного давления;

**кобылка** – отрезок доски, удлиняющий нижний конец стропильной ноги для расположения на нём свеса крыши или сплошной обрешётки, лежащей на карнизе;

**нарожник** – элемент кровельной системы здания, укороченная стропильная нога, поддерживающая участок ската между накосной стропильной ногой и свесом крыши;

**карниз** – венчающая часть здания, выступ, край кровли;

**фронтон** – завершение (обычно треугольное, реже – полуциркулярное) фасада здания, портика, колоннады, ограниченное двумя скатами крыши по бокам и карнизом у основания;

**слуховое окно** – окно в кровле здания, предназначенное для естественного освещения и проветривания чердачных помещений, иногда – для выхода на крышу;

**двускатная или щипцовая крыша** – крыша с двумя наклонными к наружным стенам скатами;

**шатёр** – архитектурная форма в виде многогранной (чаще всего восьмигранной) пирамиды, служащая для завершения архитектурного сооружения;

**вальмовая крыша** – вид крыши с четырьмя скатами, причём торцовые скаты имеют треугольную форму (называются «вальмы») и простираются от конька до карниза. Два других ската трапециевидальной формы;

**мансардная крыша** – скатная крыша, для которой характерна конструкция ската, состоящего из двух частей — верхней, пологой и нижней, более крутой;

**распор** – горизонтальная составляющая опорной реакции стропильной системы;

**конек** – верхнее горизонтальное ребро крыши, образующее водораздел;

**узел** – область сопряжения двух или более элементов конструкции;

**узел конструкции** – соединение элементов конструкции (каркаса), обладающее заданной несущей способностью и жесткостью;

**соединение** – подвижное или неподвижное скрепление деталей или элементов для укрупнения или образования из них конструкций, узлов;

**строительные сооружения** – все, что построено или является результатом строительных работ [1];

**воздействие F** – а) совокупность сил (нагрузок), приложенных к конструкции (прямое воздействие); б) совокупность вынужденных деформаций или ускорений, вызванных, например, изменениями температуры и влажности, неравномерной осадкой опор или землетрясениями (косвенное воздействие) [1];

**эффeкт воздействия E** – результат воздействия(-ий) на элементы конструкции (например, внутреннее усилие, момент, напряжение, деформация) или на конструкцию в целом (например, прогиб, поворот) [1];

**постоянное воздействие G** – воздействие, вероятность в течение заданного базового периода времени и величина которого изменяются во времени незначительно по сравнению со средним значением или изменения которого всегда происходят в одном и том же направлении (монотонно) до достижения некоторого граничного значения [6];

**переменное воздействие Q** – воздействие, для которого отклонения во времени от среднего значения значительны и не являются монотонными [1];

**характеристическое значение воздействия  $F_k$**  – основное репрезентативное значение воздействия [1];

**расчетное значение воздействия  $F_d$**  – значение, полученное в результате умножения репрезентативного значения на частный коэффициент  $\gamma_f$  [1];

**сочетание воздействий** – совокупность расчетных значений, используемых при проверке надежности конструкции, когда в рассматриваемом предельном состоянии различные воздействия действуют одновременно [1];

**характеристическое значение снеговой нагрузки** – снеговая нагрузка на грунт, определенная с годовой вероятностью превышения 0,02, за исключением наносов снеговых нагрузок [1];

**характеристическое значение снеговой нагрузки на покрытие (кровлю)** – Характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт, умноженное на соответствующие коэффициенты [8];

**характеристическое значение плотности древесины** – 5 %-ный квантиль генеральной совокупности образцов с массой и объемом, соответствующими температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 % [12];

**характеристическое значение прочности древесины** – 5 %-ный квантиль генеральной совокупности, полученный по результатам испытаний образцов продолжительностью 300 с с равновесным влажностью при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 % [12];

**генеральная совокупность пород древесины** – пиломатериалы идентифицируемого происхождения из одной породы или комбинаций пород древесины, сортированные по прочности, и относящиеся к готовой продукции [12];

**класс** – классификационная характеристика, применяемая при сортировке или определении прочности пиломатериалов [4];

**класс прочности** – результат классификации пиломатериалов на основе определенных значений механических характеристик и плотности [4];

**коэффициент формы снеговой нагрузки на покрытие** – отношение снеговой нагрузки на покрытие без заносов к снеговой нагрузке на грунте, определенное без учета влияния окружающей среды и температуры [2];

**коэффициент окружающей среды** – коэффициент, определяющий уменьшение или увеличение нагрузки на покрытие неотапливаемого здания как части характеристической снеговой нагрузки на грунт [2];

**характеристика жесткости** – характеристика, используемая при расчете деформации конструкции (модуль упругости, модуль сдвига, модуль скольжения);

**влажность древесины** – процентное содержание свободной воды в полостях и гигроскопической воды в порах древесины;

**нагель** – цилиндрический стержень из стали, пластмассы или древесины, плотно помещенный в предварительно просверленное отверстие или гнездо и применяемый для передачи внутренних усилий, действующих перпендикулярно его оси;

**пиломатериалы** – пилопродукция установленных размеров и качества, имеющая как минимум две плоскопараллельные пласти;

**брус** – пиломатериал толщиной и шириной более 100 мм;

**доска** – пиломатериал толщиной до 100 мм и шириной не менее двойной толщины;

**кромка пиломатериала** – любая из двух противоположных более узких продольных опиленных поверхностей обрезного пиломатериала, а также любая из обзолных продольных поверхностей необрезного пиломатериала;

**пласть пиломатериала** – любая из двух противоположных более широких продольных поверхностей пиломатериала, а также любая продольная поверхность пиломатериала с квадратным сечением.

## Обозначения

В настоящем пособии применяются следующие обозначения:

$A_d$	– расчетное значение площади поперечного сечения элемента;
$A_{net}$	– площадь нетто поперечного сечения элемента;
$B$	– ширина здания;
$E$	– эффект воздействия; модуль упругости;
$C_e$	– коэффициент, значение которого зависит от условий местности;
$C_t$	– коэффициент, значение которого принимается в зависимости от теплоизоляции конструкции покрытия;
$E_d$	– расчетное значение эффекта воздействий; расчетное значение модуля упругости;
$E_{d,USL}$	– расчетное значение эффекта воздействия для предельного состояния несущей способности;
$E_{mean}$	– среднее значение модуля упругости древесины или материала на ее основе;
$E_{0,05}$	– 5 %-ый квантиль модуля упругости древесины;
$E_{0mean}$	– среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон;
$F_{ax,Edi}$	– расчетное значение усилия, действующего вдоль оси механической связи для $i$ -й комбинации нагружения;
$F_{ax,Rdi}$	– расчетное значение несущей способности гвоздей в соединении, воспринимающих осевые усилия растяжения, для $i$ -й комбинации нагружения;
$F_{c,90,Edi}$	– расчетное значение усилия для $i$ -й комбинации нагружения, сжимающего древесину мауэрлата поперек волокон под опорной площадкой стропильной ноги;
$F_{c,90,Rdi}$	– расчетное значение сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон стропильной ногой при $i$ -й комбинации нагружения;
$F_{di}$	– силы от давления стропил на прогон, возникающие при $i$ -й комбинации нагружения;
$F_{v,Edi}$	– расчетные значения усилия сдвига для $i$ -ой комбинации нагружения;
$F_{v,Rdi}$	– расчетное значение несущей способности гвоздей в соединении, воспринимающих усилия сдвига, для $i$ -ой комбинации нагружения;
$F_{1ax,Rk}$	– характеристическое значение несущей способности гвоздя на выдергивание из древесины, забитого перпендикулярно волокнам;
$F_{1v,Rk}$	– характеристическое значение несущей способности гвоздя в плоскости сдвига на один срез;
$G$	– постоянное воздействие;
$G_{k,j}$	– характеристическое значение постоянного $j$ -го воздействия;
$G_d$	– расчетное значение постоянного воздействия;
$G_{0,05}$	– 5 %-ый квантиль модуля сдвига;
$H$	– горизонтальная реакция, распор;
$H_m$	– отметка на поверхности мауэрлата;
$H_k$	– отметка конька;
$I$	– значение момента инерции поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;
$I_d$	– расчетное значение момента инерции поперечного сечения стропильной ноги относительно нейтральной оси;
$I_{y,d}$	– расчетные значения момента инерции поперечного сечения элемента относительно оси $Y$ ;
$I_{br}$	– момент инерции брутто поперечного сечения стропильной ноги относительно нейтральной оси;
$I_v(z)$	– интенсивность турбулентности;

$L$	– расстояние между наружными продольными стенами здания, длина здания;
$M$	– изгибающий момент;
$M_{Ed}$	– расчетное значение изгибающего момента;
$M_{Ed,max}$	– максимальное расчетное значения изгибающего момента;
$M_{y,EdI}$	– расчетное значение изгибающего момента относительно оси $y$ в сечении стропильной ноги для I-й комбинации нагружения;
$M_{y,EdII}$	– расчетное значение изгибающего момента относительно оси $y$ в сечении стропильной ноги для II-й комбинации нагружения;
$M_{y,EdIII}$	– расчетное значение изгибающего момента относительно оси $y$ в сечении стропильной ноги для III-й комбинации нагружения;
$M_{y,RdI}$	– расчетное значение сопротивления в нормальном сечении стропильной ноги, подверженной изгибу относительно оси $y$ , для I-й комбинации нагружения;
$M_{y,RdII}$	– расчетное значение сопротивления в нормальном сечении стропильной ноги, подверженной изгибу относительно оси $y$ , для II-й комбинации нагружения;
$M_{y,RdIII}$	– расчетное значение сопротивления в нормальном сечении стропильной ноги, подверженной изгибу относительно оси $y$ , для III-й комбинации нагружения;
$M_{y,Rk}$	– характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя;
$N$	– продольное усилие;
$N_{Ed,i}$	– продольное усилие для $i$ -й комбинации (сочетания) нагружения;
$N_{t,Edi}$	– расчетное значение растягивающего усилия в сечении элемента для $i$ -й комбинации нагружения;
$N_{c,EdI}$	– расчетное значение продольного усилия в сечении стропильной ноги для I-й комбинации нагружения;
$N_{c,EdII}$	– расчетное значение продольного усилия в сечении стропильной ноги для II-й комбинации нагружения;
$N_{c,EdIII}$	– расчетное значение продольного усилия в сечении стропильной ноги для III-й комбинации нагружения;
$N_{c,RdI}$	– расчетное значение сопротивления действию продольного усилия в нормальном сечении стропильной ноги для I-й комбинации нагружения;
$N_{c,RdII}$	– расчетное значение сопротивления действию продольного усилия в нормальном сечении стропильной ноги для II-й комбинации нагружения;
$N_{c,RdIII}$	– расчетное значение сопротивления действию продольного усилия в нормальном сечении стропильной ноги для III-й комбинации нагружения;
$Q$	– переменное воздействие;
$Q_d$	– расчетное значение переменного воздействия;
$Q_k$	– характеристическое значение отдельного переменного воздействия;
$Q_{k,i}$	– характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия $i$ ;
$Q_{k1}$	– характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;
$R$	– сопротивление, несущая способность, опорная реакция;
$R_d$	– расчетное значение сопротивления, расчетное значение несущей способности, расчетное значение опорной реакции;
$R_{A,q_d}$	– расчетное значение вертикальной реакции в опорном узле А элемента/конструкции при действии постоянной нагрузки;
$R_{A,q_d}$	– расчетное значение вертикальной реакции в опорном узле А элемента/конструкции при действии переменной нагрузки;
$R_{dI}$	– расчетное значение опорной реакции при комбинации нагружения I;
$R_{dII}$	– расчетное значение опорной реакции при комбинации нагружения II;
$R_{A,dI}$	– расчетное значение реакции в карнизном узле А стропильной ноги при комбинации нагружения I;



$R_{B,dl}$	– расчетное значение вертикальной реакции в узле Б стропильной ноги при комбинации нагружения I;
$R_{A,dII}$	– расчетное значение вертикальной реакции в узле А стропильной ноги при комбинации нагружения II;
$R_{B,dII}$	– расчетное значение реакции в узле Б стропильной ноги при комбинации нагружения II;
$S$	– статический момент сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;
$S_b$	– статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения стропильной ноги относительно нейтральной оси $y$ ;
$S_k$	– характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт;
$V_E$	– усилие сдвига, поперечная сила;
$V_{Ed}$	– расчетное значение усилия сдвига (поперечной силы);
$V_{Rdi}$	– расчетное значение сопротивления сдвигу в опорном сечении стропильной ноги для $i$ -й комбинации нагружения;
$W_d$	– расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента;
$W_{y,d}$	– расчётное значение момента сопротивления поперечного сечения элемента относительно оси $Y$ ;
$\prod_1^n k_j$	– произведение частных коэффициентов $k_j$ , учитывающих геометрические параметры элемента конструкции, вид напряженного состояния и распределение напряжений в сечении элемента;
$b$	– ширина поперечного сечения элемента;
$b_m$	– ширина поперечного сечения мауэрлата;
$b_c$	– ширина поперечного сечения стропильной ноги;
$b_n$	– ширина поперечного сечения прогона подстропильной системы;
$b_{cm}$	– ширина поперечного сечения стойки подстропильной системы;
$b_i$	– ширина поперечного сечения $i$ -го элемента стропильной системы;
$b_{ef}$	– расчетное значение ширины поперечного сечения стропильной ноги;
$c_e$	– коэффициент экспозиции;
$c_{pe}$	– коэффициент наружного давления ветра на доминантной поверхности;
$c_{pi}$	– коэффициент внутреннего давления ветра на доминантной поверхности;
$c_o(z)$	– орографический коэффициент;
$c_r(z)$	– коэффициент, учитывающий тип местности;
$c_{dir}$	– коэффициент, учитывающий направление ветра;
$c_{season}$	– сезонный коэффициент;
$d$	– диаметр крепежного элемента (болта, винта, гвоздя и т. п.);
$d_h$	– номинальный диаметр головки гвоздя;
$e$	– эксцентриситет приложения продольного усилия;
$f$	– прочность материала, стрела подъема стропильной ноги;
$f_k$	– характеристическое значение прочности материала;
$f_d$	– расчетное значение прочности материала;
$f_{m,d}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе;
$f_{m,k}$	– характеристическое значение прочности древесины при изгибе;
$f_{m,dl}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения I;
$f_{m,dII}$	– расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения II;
$f_{t,0,di}$	– расчетное значение прочности древесины в элементе при его растяжении вдоль волокон при $i$ -й комбинации нагружения;
$f_{c,0,d}$	– расчётное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон;

- $f_{c,0,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон;
- $f_{c,90,d}$  – расчётное значение прочности древесины при сжатии поперек волокон;
- $f_{c,90,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сжатии поперек волокон;
- $f_{t,0,d}$  – расчётное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон;
- $f_{t,0,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон;
- $f_{v,d}$  – расчётное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
- $f_{v,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
- $f_{v,di}$  – расчетное значение прочности древесины стропильной ноги при сдвиге вдоль волокон;
- $f_{m,g,d}$  – расчетное значение прочности клееной древесины при изгибе;
- $f_{m,g,k}$  – характеристическое значение прочности клееной древесины при изгибе;
- $f_{c,0,g,d}$  – расчетное значение прочности клееной древесины при сжатии вдоль волокон;
- $f_{c,0,g,k}$  – характеристическое значение прочности клееной древесины при сжатии вдоль волокон;
- $f_{c,90,g,d}$  – расчетное значение прочности клееной древесины при сжатии поперек волокон;
- $f_{c,90,g,k}$  – характеристическое значение прочности клееной древесины при сжатии поперек волокон;
- $f_{t,0,g,d}$  – расчетное значение прочности клееной древесины при растяжении вдоль волокон;
- $f_{t,0,g,k}$  – характеристическое значение прочности клееной древесины при растяжении вдоль волокон;
- $f_{t,90,g,d}$  – расчетное значение прочности клееной древесины при растяжении поперек волокон;
- $f_{t,90,g,k}$  – характеристическое значение прочности клееной древесины при растяжении поперек волокон;
- $f_{v,g,d}$  – расчётное значение прочности клееной древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
- $f_{v,g,k}$  – характеристическое значение прочности клееной древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон;
- $f_{m,y,di}$  – расчетное значение прочности древесины элемента при изгибе для  $i$ -й комбинации (сочетания) нагружения;
- $f_{c,y,di}$  – расчетное значение прочности древесины элемента при сжатии для  $i$ -й комбинации (сочетания) нагружения;
- $g_k$  – характеристическое значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины конструкции;
- $g_d$  – расчетное значение постоянной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины конструкции;
- $q_{g,d}$  – расчетное значение постоянной нагрузки, действующей на единицу плана покрытия;
- $h$  – высота поперечного сечения элемента;
- $h_i$  – высота поперечного сечения  $i$ -го элемента стропильной системы;
- $h_m$  – высота поперечного сечения мауэрлата;
- $h_{cm}$  – высота поперечного сечения стойки подстропильной системы;
- $h_c$  – высота поперечного сечения стропильной ноги;
- $h_n$  – высота поперечного сечения прогона подстропильной системы;

$h_1$	– глубина врубки;
$k_{def}$	– коэффициент ползучести древесины или материалов на ее основе;
$k_{mod}$	– коэффициент модификации (приведения);
$k_h$	– частный коэффициент, учитывающий изменение прочности древесины в элементе при его изгибе или растяжении в зависимости от высоты его поперечного сечения по отношению к стандартной высоте;
$k_{F1}$	– частный коэффициент, значение которого зависит от класса последствий;
$k_{cr}$	– коэффициент, учитывающий снижение сопротивления поперечного сечения сдвигу из-за возможного образования поверхностных трещин в опорных участках элемента;
$k_m$	– коэффициент, учитывающий распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента в зависимости от его формы;
$k_{c,y}$	– коэффициент продольного изгиба относительно оси $y$ ;
$k_{c,z}$	– коэффициент продольного изгиба относительно оси $z$ ;
$k_{c,90}$	– коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сжатия в древесине элемента по длине контактной площадки;
$k_{v1}$	– коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига по длине площадки скалывания в растянутом элементе;
$l$	– пролет элемента, длина элемента;
$l_x$	– длина стропильной ноги;
$l_{x1}$	– координата по оси $x_1$ на горизонтальной проекции стропильной ноги;
$l_1, l_2$	– пролеты стропильных ног;
$l_0$	– пролет прогона подстропильной системы;
$l_v$	– длина площадки скалывания (сдвига);
$l_d$	– длина проекции стропильной ноги на горизонтальную поверхность, расчетная длина стойки/подкоса;
$l_c$	– длина опорной площадки стропильной ноги в опорном узле;
$l_n$	– длина торцового участка стропильной ноги в коньковом узле;
$n_{ef}$	– расчетное число гвоздей в соединении;
$q_k$	– характеристическое значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины конструкции;
$q_d$	– расчетное значение переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины элемента конструкции;
$q_b$	– базовое значение скоростного напора ветра;
$q_{1wi,k}$	– характеристическое значение ветровой нагрузки при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления, действующее перпендикулярно поверхности;
$g_{w,d}$	– расчетное значение ветровой нагрузки, действующей на единицу плана покрытия;
$q_{g,k}$	– характеристическое значение постоянной нагрузки, действующей на единицу плана покрытия;
$q_{s,d}$	– расчетное значение снеговой нагрузки, действующей на единицу плана покрытия;
$q_{di}$	– интенсивность эквивалентной равномерно распределенной нагрузки, действующей по длине прогона при $i$ -ой комбинации нагружения стропильных ног;
$q_p(z)$	– пиковое значение скоростного напора ветра;
$s$	– шаг стропильных ног;
$s_i$	– шаг $i$ -го элемента стропильной системы;
$t$	– толщина деревянного элемента, непосредственно в который забиваются гвозди;

$t_{pen}$	– расчетная длина заземленной части гвоздя со стороны острия;
$U_{c,d}$	– предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
$U_{E,d}$	– расчетное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;
$U_{inst}$	– начальный прогиб элемента или конструкции от кратковременного приложения нагрузок;
$U_{creep}$	– значение прогиба элемента или конструкции в результате ползучести древесины при длительном действии нагрузок;
$U_{z,inst,g}$	– значение начального прогиба стропильной ноги по направлению перпендикулярном ее продольной оси от действия постоянной нагрузки;
$U_{z,inst,q_s}$	– значение начального прогиба стропильной ноги по направлению перпендикулярном ее продольной оси от действия переменной снеговой нагрузки;
$U_{z,inst,w}$	– значение начального прогиба стропильной ноги по направлению перпендикулярном ее продольной оси от действия кратковременной ветровой нагрузки;
$U_{fin}$	– полное (окончательное) значение прогиба;
$V_{b,0}$	– основное значение базовой скорости ветра;
$V_m(z)$	– средняя скорость ветра на высоте $z$ над уровнем земли;
$v_b(z)$	– средняя скорость ветра над уровнем земли;
$\alpha$	– угол уклона кровли, угол наклона стропильной ноги к горизонту;
$\beta$	– угол наклона оси подкоса по отношению к оси стойки;
$\gamma$	– угол между осью стропильной ноги и осью подкоса;
$\gamma_i$	– объемный вес материала $i$ -го элемента стропильной системы;
$\gamma_{G,j}$	– частный коэффициент для постоянного $j$ -го воздействия;
$\gamma_M$	– частный коэффициент свойств материала или изделия;
$\gamma_G$	– частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий погрешности модели и отклонения размеров;
$\gamma_{G,j}$	– частный коэффициент для постоянного $j$ -го воздействия;
$\gamma_{Q,i}$	– частный коэффициент для переменного $i$ -го воздействия;
$\gamma_M$	– частный коэффициент свойств материала или изделия;
$\xi$	– коэффициент уменьшения неблагоприятных постоянных воздействий;
$\lambda_{max}$	– максимальное значение гибкости элемента;
$\lambda_{rel,y}$	– приведенная гибкость стойки/подкоса относительно оси $y$ ;
$\lambda_{rel,z}$	– приведенная гибкость стойки/подкоса относительно оси $z$ ;
$\lambda_y$	– гибкость стойки/подкоса относительно оси $y$ ;
$\lambda_z$	– гибкость стойки/подкоса относительно оси $z$ ;
$\mu_1$	– коэффициент формы снеговых нагрузок;
$\rho$	– плотность воздуха, плотность древесины;
$\rho_k$	– характеристическое значение плотности древесины;
$\sigma_{m,y,d_i}$	– расчетные значения нормальных напряжений в рассматриваемом сечении элемента от изгиба относительно оси $Y$ для $i$ -й комбинации (сочетания) нагружения;
$\sigma_{c,0,d_i}$	– расчетные значения нормальных напряжений в рассматриваемом сечении элемента при сжатии вдоль волокон для $i$ -й комбинации (сочетания) нагружения;
$\Psi_0$	– коэффициент, учитывающий комбинационное значение переменного воздействия;
$\Psi_1$	– коэффициент, учитывающий частоту повторения переменного воздействия;
$\Psi_2$	– коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия.

## 1 Крыши зданий и их формы

1.1 Крыша здания представляет собой конструкцию, которая воспринимает вес кровли и собственных элементов, воздействия от снега и ветра. Несущие элементы крыши передают нагрузки на стены здания или опоры. Помимо несущих и эстетических функций крыша является ограждающей конструкцией.

1.2 По форме крыши бывают: плоские и скатные. Крыши, уклон которых менее 2,5 %, относят к плоским. Плоские крыши могут быть как чердачные, так и бесчердачные. В чердачных плоских крышах слои пароизоляции и гидроизоляции разделены. Слой пароизоляции располагают по перекрытию верхнего этажа (ниже – утеплителя), а гидроизоляционный слой – по покрытию крыши. В бесчердачных крышах эти функции совмещены. В плоских крышах отсутствует стропильная система, а нагрузки передаются непосредственно на перекрытия.

1.3 Скатные крыши зданий обычно выполняют с использованием стропильных систем, представляющих собой сложную инженерную конструкцию из древесины. В зависимости от формы скатные крыши бывают: односкатные; двускатные, шатровые, вальмовые, многощипцовые, мансардные, купольные, конические (рисунок 1.1).



а) – односкатные;  
б) – двускатные;  
в) – шатровые;  
г) – вальмовые;  
д) – многощипцовые;  
е) – мансардные;  
ж) – купольные;  
з) – конические  
**Рисунок 1.1 – Формы скатных крыш**

1.4 Основными несущими элементами стропильной системы являются: обрешетка, стропила, мауэрлат, стойки и подкосы подстропильной системы. В конструкцию подстропильной системы могут входить элементы в виде ригелей, стоек, подкосов, распорок и т. п.

Обрешетку, как правило, изготавливают из пиломатериалов, укладываемых в продольном направлении здания на стропильные ноги. Затяжки в стропильной системе воспринимают растягивающие усилия. Стойки изготавливают из древесины и располагают в вертикальном положении. Мауэрлат – брус, закрепленный вдоль стен, на который опираются стропильные ноги. Стропильные ноги – деревянные элементы, воспринимающие нагрузки от крыши.

**1.5** Односкатные крыши опираются своими несущими конструкциями на наружные стены, которые могут находиться на разных уровнях (рисунок 1.1а). Как правило, односкатные крыши применяют при строительстве вспомогательных зданий и сооружений простой конструкции (террас, веранд, гаражей, а также различных хозяйственных построек). Скат таких крыш ориентируют к наветренной стороне. Применение скатных крыш позволяет более полно использовать объем помещений.

**1.6** Из всех форм крыш в практике строительства зданий и сооружений наибольшее распространение получили классические двускатные крыши (рисунок 1.1б). Такие крыши состоят из двух скатов, направленных в противоположные стороны. Торцовые стены в зданиях с такими крышами имеют треугольную форму, называемые щипцами. Иногда такие крыши называют щипцовыми. Опирание основных несущих конструкций двускатных крыш осуществляется на две наружные стены равной высоты. Разновидностью двускатной крыши является крыша с висячими стропильными фермами и с наклонными стропилами. Угол уклона двускатной крыши может быть самым разнообразным, как постоянным, так и переменным (с изломами по длине ската).

**1.7** Вальмовая или четырехскатная крыша имеет четыре ската (рисунок 1.1г), два из которых в виде трапеции, а два других ската по торцам – треугольники (вальмы). Если вальма не доходит до карниза, крыша называется полувальмовой. С точки зрения статической работы, вальмовые крыши являются предпочтительными по сравнению с другими фермами крыш, но более трудоемкими в процессе строительства.

**1.8** Шатровая крыша (рисунок 1.1в) имеет минимум четыре ската, выполненных в виде одинаковых равнобедренных треугольников, сходящихся в одной центральной точке. Такие формы крыш целесообразно использовать в зданиях и сооружениях, имеющих в плане форму квадрата или равностороннего многоугольника. Опирание основных несущих конструкций двускатных крыш осуществляется на наружные стены многоугольника (колонны) равной высоты.

**1.9** Ломаная (мансардная) крыша – двускатная, каждая плоскость которой представляет два прямоугольника, соединенных между собой под тупым углом (рисунок 1.1е). Такую форму крыши используют при проектировании зданий с чердаком и более полным использовании его площади. Для увеличения объема чердачного помещения скаты мансардной крыши выполняются различных уклонов: верхние скаты более пологие, а нижние имеют более крутой уклон.

**1.10** Купольные и конические формы крыш используют в зданиях имеющих круглую форму в плане (рисунок 1.1ж и 11з).

## **2 Скатные крыши**

**2.1** Форма скатной крыши здания формируется стропильной системой, где основными несущими элементами являются стропила.

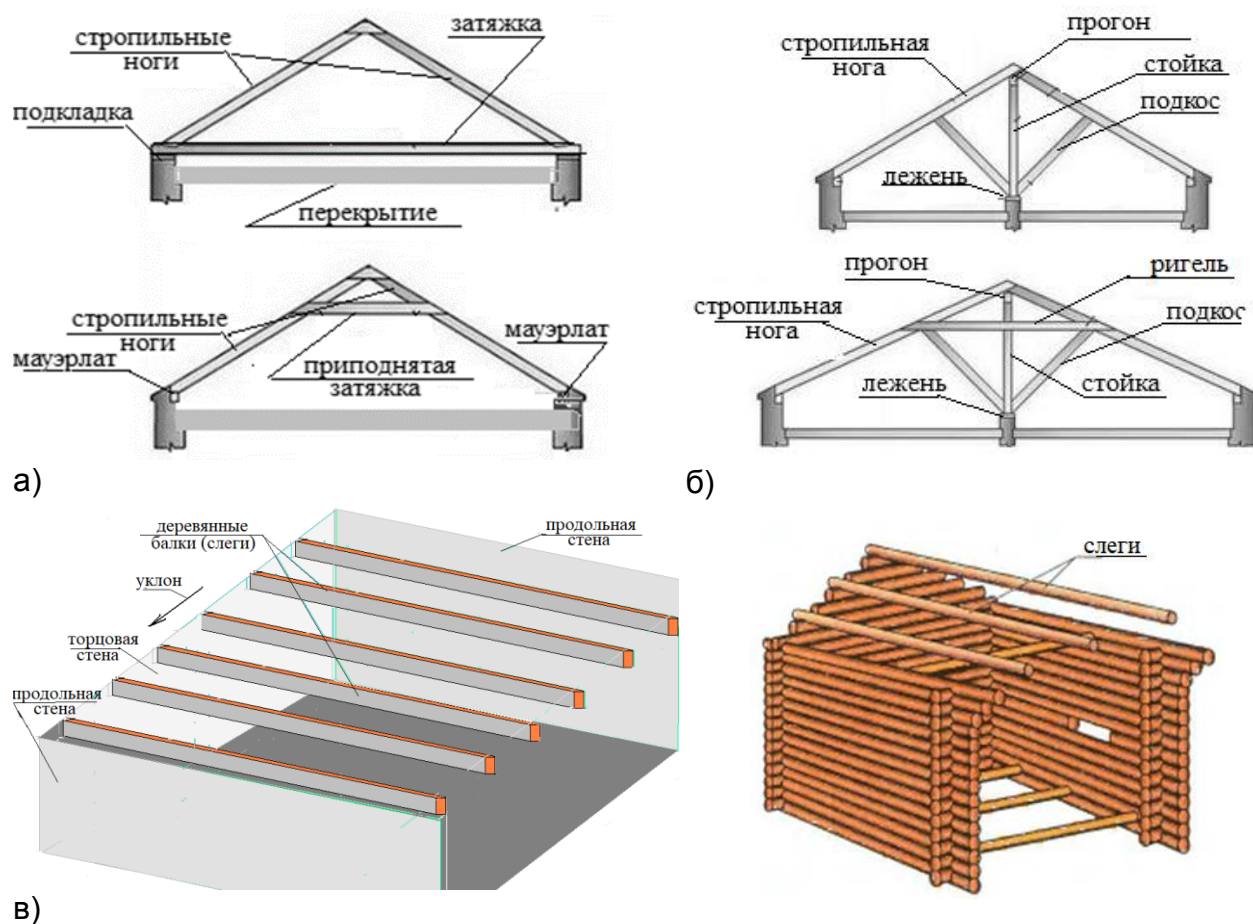
Стропила устанавливаются под углом, соответствующим углу наклона ската кровли. Опирание стропильных ног нижними концами на наружные стены из кладочных элементов осуществляется через мауэрлат (продольный брус), соединенный со стенами. В панельных и каркасных зданиях такое опирание выполняют через обвязочный брус, а в зданиях с бревенчатыми стенами – на верхний венец, что позволяет равномерно распределять нагрузку на нижележащие элементы стен или конструкции. Верхние концы стропильных ног могут опираться на противоположные



стропильные ноги или на брус (коньковый прогон), промежуточные прогоны, передающие через систему стоек нагрузку на внутренние несущие стены (рисунок 2.1).

**2.2** По длине стены или обвязочного бруса стропила располагают через каждые 0,6–1,5 м. Шаг стропил зависит от поперечного сечения стропильных ног, материала кровли и других условий. Параметры поперечных сечений стропил определяют на основе проверок предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности от таких воздействий, как вес кровли, давление снега и ветра.

**2.3** В зависимости от способа укладки стропил на несущие элементы здания и их статической работы, стропила подразделяют на висячие и наслонные (рисунок 2.1).



а) – поперечный разрез висячей стропильной системы; б) – поперечный разрез наслонной стропильной системы; в) – бесстропильная система

**Рисунок 2.1 – Схемы систем скатных крыш**

**2.4** В висячей стропильной системе стропила одним концом (нижним) опираются на наружную стену, а верхним соединяются с противоположной стропильной ногой. В данной стропильной системе стропильные ноги работают как сжато-изгибаемые элементы. При применении такой стропильной системы в опорной части стропил возникает значительное горизонтальное усилие (распор), которое передается на стены. Для восприятия этого усилия устанавливают затяжку (деревянную или металлическую), соединяющую стропильные ноги. Затяжка может располагаться как у основания стропил (в этом случае служит балкой перекрытия – именно этот вариант наиболее часто используется при строительстве мансардных крыш), так и выше. Чем выше располагается затяжка, тем больше в ней усилие растяжения. Иногда для восприятия распора поверху стен устраивается монолитный железобетонный пояс, к которому крепится мауэрлат с закрепленными стропильными ногами.

**2.5** Стропила, концы которых опираются на наружные стены здания, а средняя часть – на внутреннюю стену или опоры, относят к наслонным (рисунок 2.1б). При таких схемах опирания стропил их следует рассчитывать как изгибаемые элементы.

Наслонные стропила устанавливают в домах со средней несущей стеной или промежуточными опорами в виде колонн.

**2.6** Формы скатных крыш могут образовываться не только стропильной системой, но и за счет формы фронтонов стен, на которые параллельно продольным стенам с определенным шагом укладываются деревянные балки (слег), (рисунок 2.1в). Такие крыши называются бесстропильными, а несущие фронтоны стен из бревен – самцами.

**2.7** В двускатных крышах скаты кровли, как правило, проектируют с одинаковым уклоном, который назначают в зависимости от кровельного материала, способа его укладки, архитектурных требований, экономической целесообразности, национальных особенностей и района строительства. Рекомендуемые уклоны скатных крыш, в зависимости от вида кровельного материала, приведены в таблице 2.1.

Уклон скатов крыш (отношение высоты к половине пролета) может выражаться в процентах, градусах или в виде безразмерной величины.

**Таблица 2.1 – Рекомендуемые уклоны скатных крыш в зависимости от вида кровельного материала**

Вид материала скатной кровли	Уклон крыши	Срок службы материала скатной кровли, лет	Вес 1 м <sup>2</sup> материала скатной кровли, Н	Вид обрешетки под материал скатной кровли
Волнистые асбестоцементные листы: среднего профиля; усиленного профиля	от 0,1 до 0,5; от 0,2 до 1	20–25	110 130	Разреженная с шагом не более 600 мм
Ондулин	от 0,1 и более	25	60	Разреженная с шагом от 450 мм до 600 мм
Мягкая (битумная) черепица	от 0,1 и более	20–25	90–150	Сплошной настил
Оцинкованная сталь: с одинарными фальцами; с двойными фальцами	от 0,25 и более от 0,25 и более	50	30–65	Сплошная или разреженная с шагом от 160 мм до 400 мм
Керамическая черепица	от 0,20 до 2	100	500–600	Разреженная с шагом от 160 мм до 400 мм
Цементная черепица	от 0,20 до 2	50	450–700	Разреженная с шагом от 160 мм до 400 мм
Металлочерепица	от 0,20 и более	50	50	Разреженная с шагом от 350 мм до 400 мм

**2.8** Крепление кровли осуществляют к обрешетке, выполняющей функцию основания и прикрепленной к прогонам или непосредственно к стропильной ноге. Обрешетку выполняют из брусков или досок, площадь поперечного сечения которых не должна быть менее 2500 мм<sup>2</sup>. Шаг досок или брусков обрешетки определяется видом и размерами кровельного материала. Доски или бруски должны иметь длину, достаточную для перекрытия двух пролетов. Пролет обрешетки принимается равным шагу стропильных конструкций, но не более 1500 мм. Поперечное сечение элемента обрешетки определяется расчетом в соответствии с правилами [5] или рекоменда-

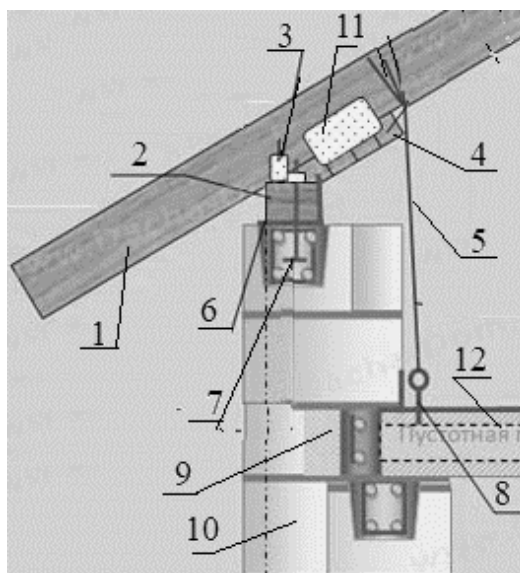


циями 3.2 [6]. Крепление обрешетки к стропильным конструкциям осуществляется с помощью гвоздей, скоб или винтов.

**2.9** При применении в качестве кровли профилированных листов из стали или асбестоцемента используют разреженную обрешетку из брусков или легких оцинкованных стальных профилей П-образного поперечного сечения.

Под кровлю из рулонных материалов и мягкой черепицы используют обрешетку в виде сплошного дощатого настила или плитных древесных материалов, таких как ОСП или фанера [7, 8], прикрепленных к стропилам или прогонам.

**2.10** В наслонной стропильной системе стропильные ноги в нижних опорных узлах должны быть прикреплены с помощью тяжей или хомутов к кирпичным стенам или перекрытиям (рисунок 2.2).



1 – стропильная нога; 2 – мауэрлат; 3 – стальной уголок или ползун; 4 – упорный брусок; 5 – стальная проволока (тяж); 6 – гидроизоляция; 7 – анкер с резьбой минимум М12 с шайбой и гайкой; 8 – анкер; 9 – утеплитель; 10 – наружная стена здания из газосиликатных блоков; 11 – металлическая зубчатая пластина (МЗП); 12 – железобетонная плита перекрытия

**Рисунок 2.2 – Схема крепления наслонных стропил к наружной стене здания**

### **3 Наслонные стропильные системы**

#### **3.1 Конструктивные схемы наслонных стропильных систем**

**3.1.1** Наслонная стропильная система состоит из обрешетки или настила, стропильных ног, опирающихся у карнизов на мауэрлат, а на средних стенах или колоннах – на продольные верхние прогоны, и подстропильной системы (рисунок 3.1 и рисунок 3.2).

**3.1.2** При проектировании стропильной системы в качестве мауэрлата (опорного бруса) используют деревянный брус, который должен быть соединен с нижележащей конструкцией. В кирпичных зданиях это специально устанавливаемый заподлицо с внутренней поверхностью стены брус (с наружной стороны его защищают выступом кирпичной кладки (рисунок 3.3)).

Если продольные наружные стены здания выполнены из сплошной кладки и стропильные ноги расставлены редко, разрешается мауэрлат выполнять из коротышей длиной от 700 мм до 1000 мм. В случаях, когда стены здания выполнены из облегченной кладки, мауэрлат по длине стены изготавливают сплошным, независимо от шага стропильных ног.

В зданиях со стенами из бревен или бруса функции мауэрлата выполняет верхний венец сруба (бревно, брус).

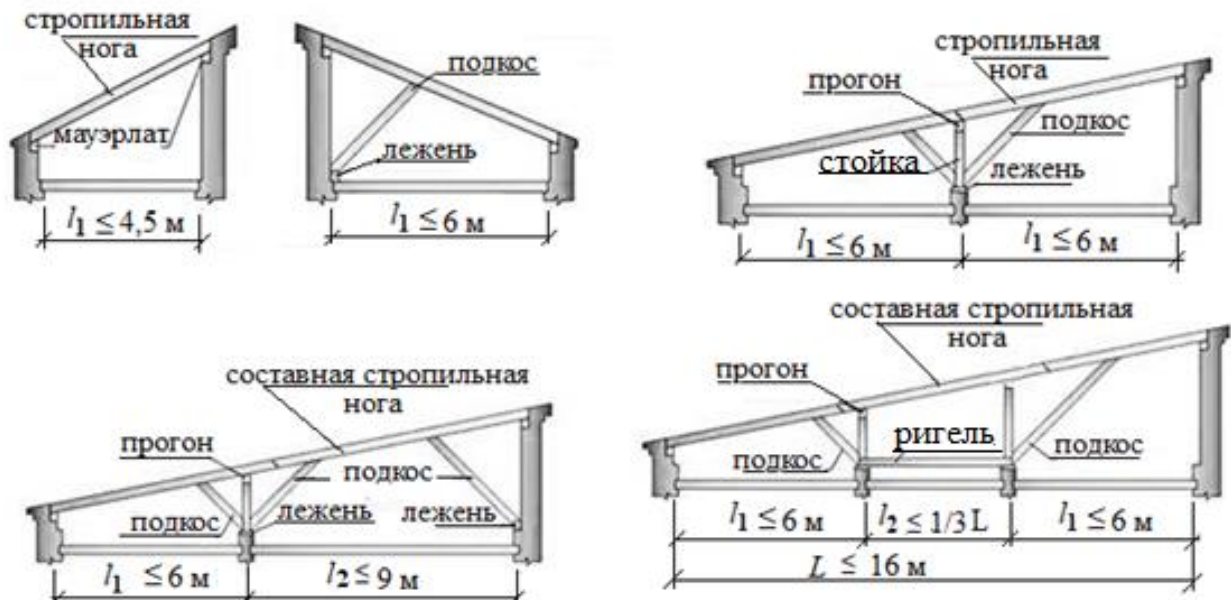


Рисунок 3.1 – Схемы поперечных разрезов односкатных наслонных стропильных систем

3.1.3 С целью уменьшения изгибающих моментов в сечениях стропильных ног (уменьшения их пролета) устанавливают подкосы, опирающиеся на нижние продольные лежни, на которые также устанавливаются стойки, воспринимающие усилия от продольных верхних прогонов подстропильной конструкции.

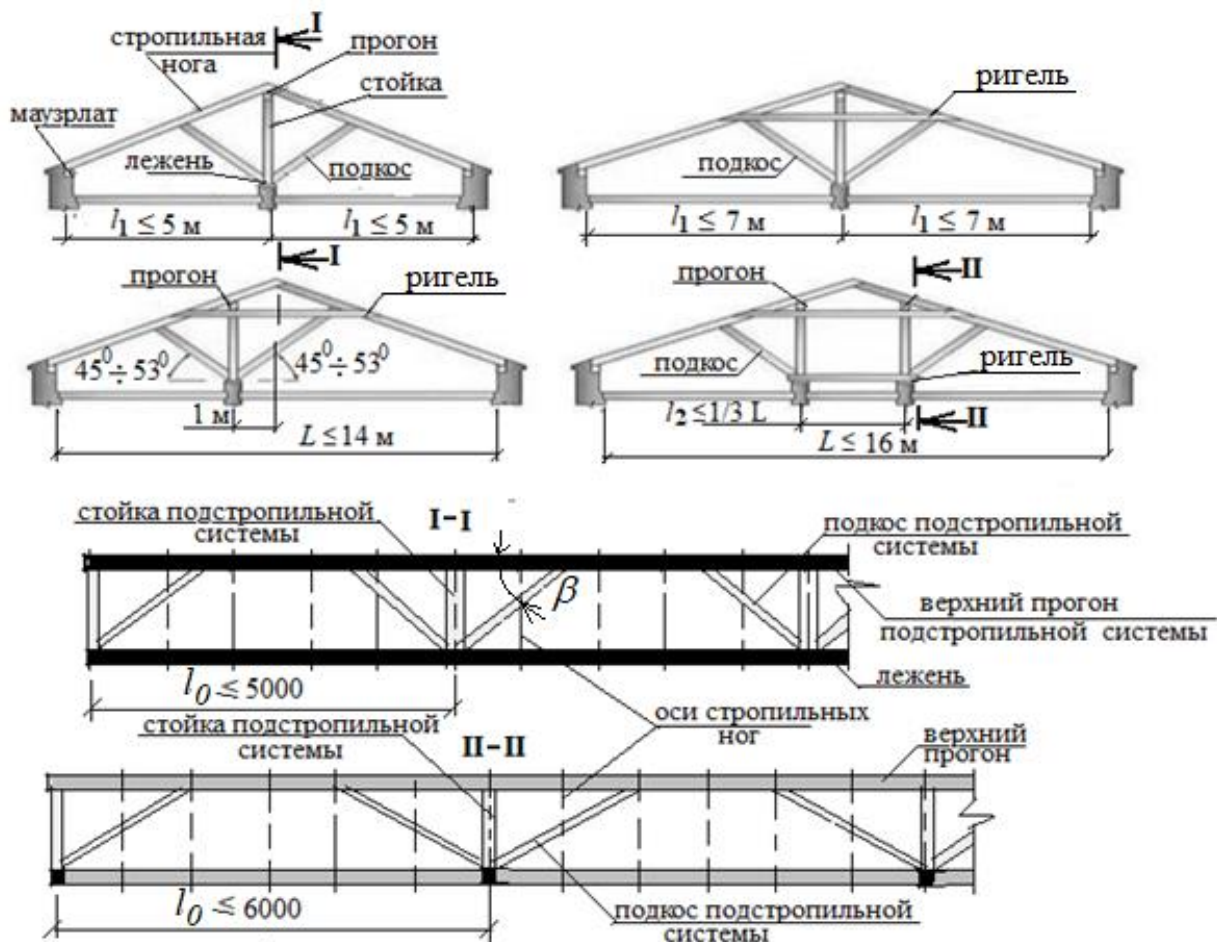
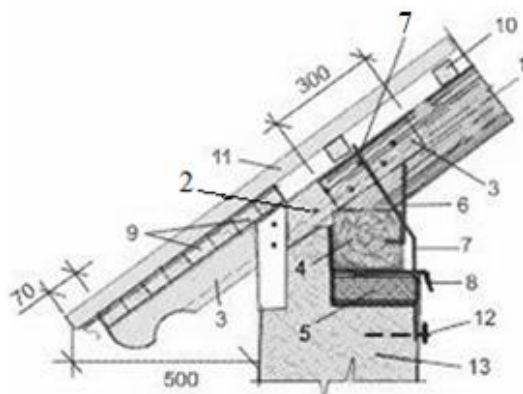


Рисунок 3.2 – Схемы поперечных и продольных разрезов двускатных наслонных стропильных систем

Основными элементами подстропильной конструкции, расположенной вдоль здания, являются прогоны, опирающиеся на деревянные стойки, передающие давление от крыши на внутренние стены или колонны (рисунок 3.2). Стойки подстропильной системы могут опираться на колонны среднего ряда или стены на расстоянии не более 6 м. Для уменьшения пролета верхних продольных прогонов подстропильной системы устанавливают подкосы, повышающие жесткость и устойчивость всей системы в продольном направлении (рисунок 3.2).

Подкосы в подстропильных системах устанавливают на расстоянии  $0,2 \div 0,25$  длины  $l_0$  прогона от опоры и располагают под углом  $\beta = 45^\circ \div 55^\circ$  к продольной оси прогона (рисунок 3.2).



1 – стропильная нога из пиломатериала; 2 – механическая связь (гвоздь, винт);  
3 – кобылка из пиломатериала; 4 – мауэрлат из пиломатериала; 5 – антисептированная  
деревянная пробка для крепления мауэрлата к стене; 6 – стальная скоба; 7 – проволочная  
скрутка крепления стропил к стене здания; 8 – слой гидроизоляционного материала;  
9 – настил для свеса крыши; 10 – обрешетка; 11 – кровля; 12 – анкер крепления скрутки;  
13 – кирпичная стена здания

**Рисунок 3.3 – Схема узла опирания стропильной ноги наслонной стропильной системы на кирпичную стену**

**3.1.4** Наслонные стропила могут изготавливаться из бревен, пиломатериалов (досок, брусьев), клееной древесины или LVL. Стропила, изготовленные из пиломатериалов, применяют при расстоянии между стенами и опорами не более 7 м, а из клееной древесины или LVL – не более 12 м.

Стропильная система должна быть запроектирована на восприятие собственного веса, а также климатических воздействий, в соответствии с требованиями и правилами, приведенными в [1] и [5].

**3.1.5** Наслонная стропильная система может быть как безраспорной, так и распорной конструкцией.

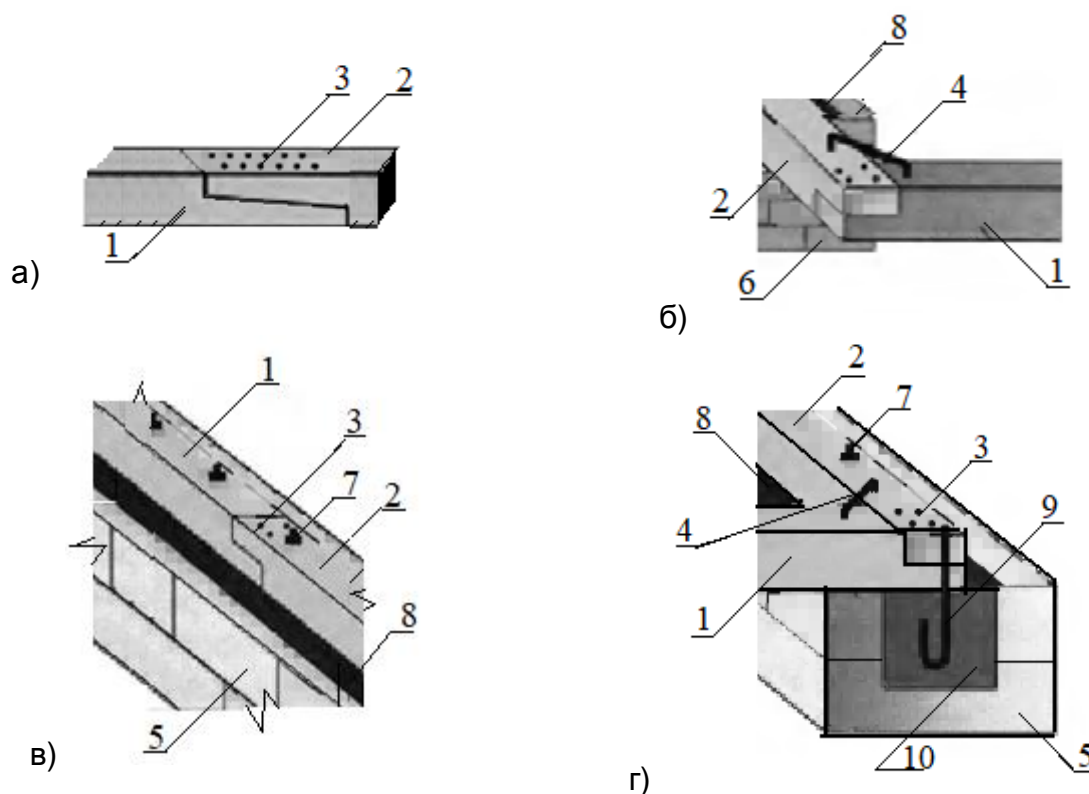
В безраспорной конструкции стропильной системы один из опорных узлов стропильной ноги выполняется в виде скользящей (шарнирно подвижной) опоры, а второй узел – шарнирно неподвижный. Предпочтительным является устройство шарнирно неподвижного узла в верхней опорной части стропильной ноги (коньке). Если узловое соединение в нижней опорной части стропильной ноги (в зоне мауэрлата) выполнено шарнирно неподвижным, то в коньке стропильная нога должна опираться посредством скоса на коньковый прогон, не соединяясь при этом с противоположной стропильной ногой. В противном случае такая схема становится распорной.

В распорной конструкции наслонной стропильной системы опорные узлы стропил выполняют шарнирно неподвижными, т. е. в опорных узлах стропильных ног возможен только поворот, а перемещения в двух направлениях ограничены.

**3.1.6** В распорной конструкции наслонной стропильной системы распор может восприниматься мауэрлатной обвязкой, монолитным железобетонным поясом, а также и наружными стенами (если это допустимо).

При восприятии распора мауэрлатом в зданиях с кирпичными стенами его брусья соединяются в общую жесткую раму по всему периметру здания, аналогичным образом поступают в зданиях со стенами из брусьев, бревен, панелей и каркасных зданий, где в общую жесткую раму по всему периметру здания соединяются элементы обвязочного бруса.

Сращивание элементов (брусьев) по длине мауэрлата или обвязочного бруса выполняют с помощью зубчатых стыковых соединений с использованием болтов, винтов, гвоздей. В углах рамы элементы соединяют с использованием зубчатых соединений с винтами или гвоздями и скобами, или стальных пластин с винтами, гвоздями (рис. 3.4). Допускается использовать и другие типы соединений и соединительных элементов, позволяющие обеспечить жесткое соединение элементов мауэрлата или обвязки.



1 и 2 – брусья мауэрлата; 3 – гвозди (винты); 4 – скоба;  
 5 – стена из газосиликатных блоков; 6 – стена из кирпича; 7 – болт;  
 8 – гидроизоляционный слой; 9 – анкер; 10 – монолитный пояс  
 а) – схема узла сращивания брусьев по длине мауэрлата; б) – схема углового зубчатого соединения брусьев мауэрлата с использованием гвоздей и скобы; в) – схема узлового соединения брусьев мауэрлата с монолитным поясом по длине наружных стен из газосиликатных блоков; г) – схема углового соединения брусьев мауэрлата с монолитным поясом наружных стен из газосиликатных блоков

**Рисунок 3.4 – Схемы узловых соединений элементов мауэрлата в жесткую горизонтальную раму**

При восприятии распора стропил стенами здания крепление элементов мауэрлата (брусьев) выполняют с использованием анкеров, установленных в стенах или монолитном поясе (рисунок 3.4). Шаг и диаметр анкеров определяется расчетом как нагельного соединения в соответствии с правилами, приведенными в [5].

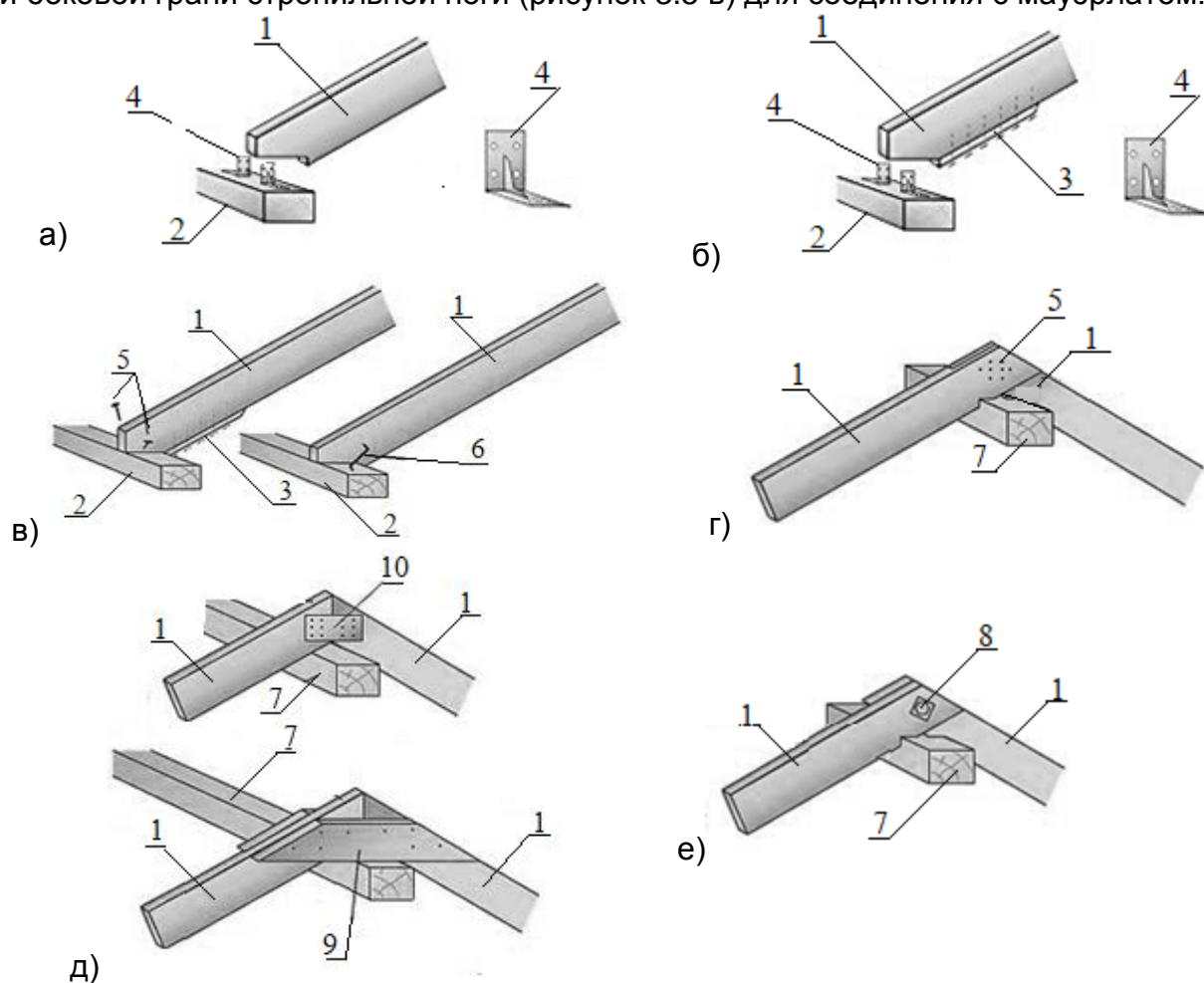
При проектировании стропильных систем предпочтительным является применение безраспорных конструктивных систем.



### 3.2 Узлы соединения элементов наслонных стропильных систем

3.2.1 Шарнирно-неподвижные опорные узлы соединения стропил с мауэрлатом могут быть выполнены с использованием врубок (запилов) зубом или упорных брусков (рисунок 3.5).

Ограничение перемещений стропил в горизонтальном направлении достигается в результате упора зуба стропильной ноги или торца упорного бруска, присоединенного с помощью гвоздей или винтов к нижней грани стропильной ноги, в боковую грань мауэрлата. Во избежание бокового смещения стропильной ноги, ее соединяют с мауэрлатом посредством металлических уголков, прикрепляемых как к стропильной ноге, так и мауэрлату с помощью гвоздей или шурупов, установленных по одному с каждой стороны стропильной ноги. Аналогичное ограничение смещений стропильных ног может быть достигнуто путем установки скоб, гвоздей или винтов с каждой боковой грани стропильной ноги (рисунок 3.5 в) для соединения с мауэрлатом.



1 – стропильная нога; 2 – мауэрлат; 3 – упорный брусок; 4 – металлический уголок;

5 – гвозди; 6 – металлическая скоба; 7 – коньковый прогон; 8 – болт;

9 – деревянные накладные доски; 10 – металлическая зубчатая пластина

а) – элементы нижнего опорного узла стропильной ноги с запилом; б) – элементы нижнего опорного узла стропильной ноги с упорным бруском; в) – нижние опорные узлы стропил;

г) – узел опирания стропильных ног на коньковый прогон с использованием врубок;

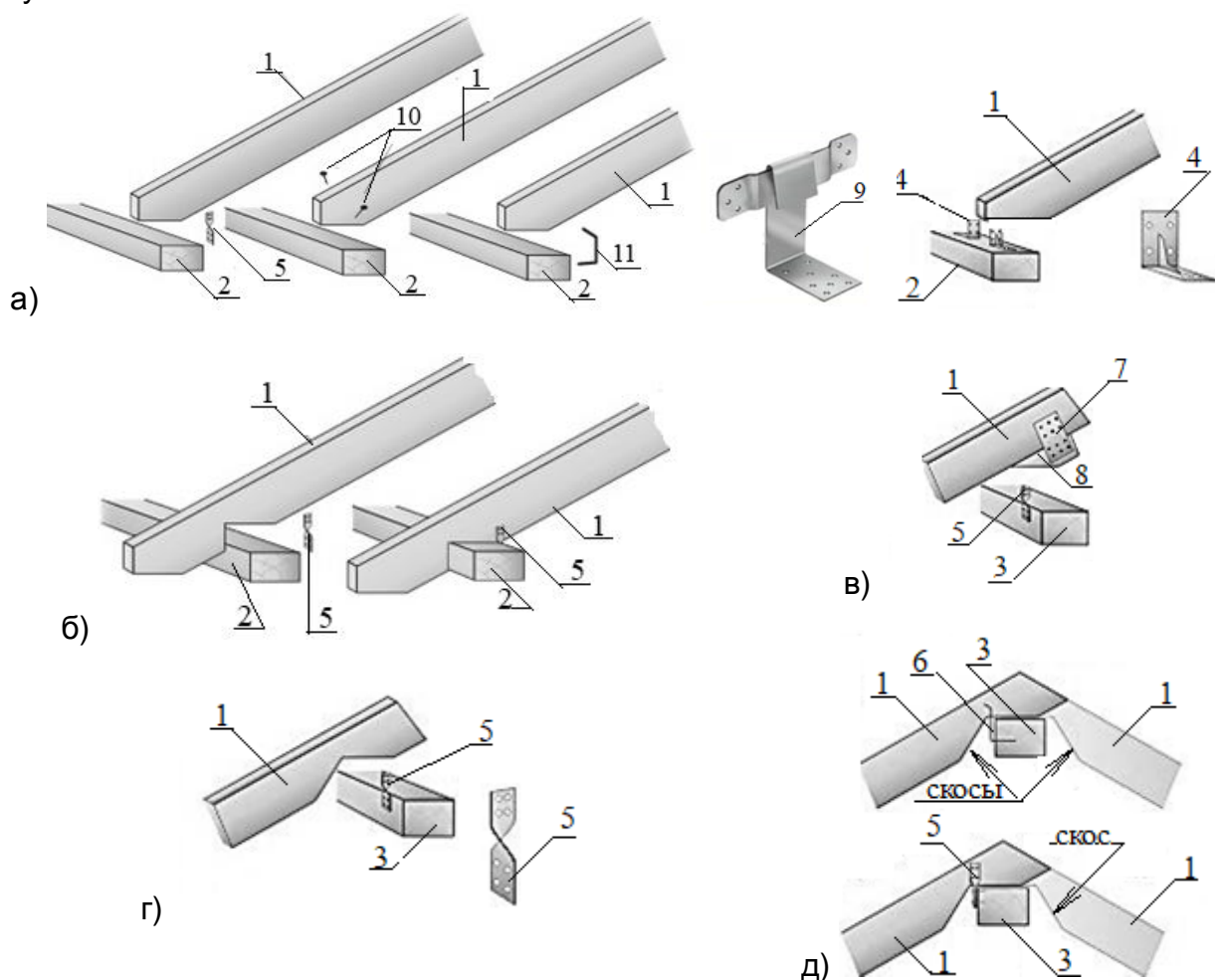
д) – узлы опирания стропильных ног на прогон с использованием врубок, соединенных между собой в коньке посредством деревянных накладок и гвоздей или металлических зубчатых пластин;

е) – узел опирания стропильных ног на прогон с использованием врубок, соединенных между собой в коньке болтом

**Рисунок 3.5 – Схемы шарнирно-неподвижных опорных узлов односкатных и двускатных наслонных стропил**

**3.2.2 Шарнирно подвижные опорные узлы соединения стропил с мауэрлатом** могут достигаться путем выполнения горизонтальных скосов в торце стропильной ноги (рисунок 3.6 а). Для предотвращения смещения стропильной ноги в продольном направлении стены здания ее соединяют с мауэрлатом посредством гвоздей, шурупов или скоб, установленных по одному с каждой стороны стропильной ноги. Аналогичным образом поступают при использовании стальных уголков, присоединение которых к стропильной ноге осуществляется с использованием гвоздей. Если в опорном узле соединение стропильной ноги с мауэрлатом выполнено с использованием стальных уголков, прикрепленных к стропильной ноге и мауэрлату с помощью гвоздей или винтов, число которых с каждой стороны стропильной ноги не менее двух, то такое соединение следует рассматривать как шарнирно неподвижное.

Некоторые схемы шарнирно подвижных опор стропильных ног приведены на рисунке 3.6.



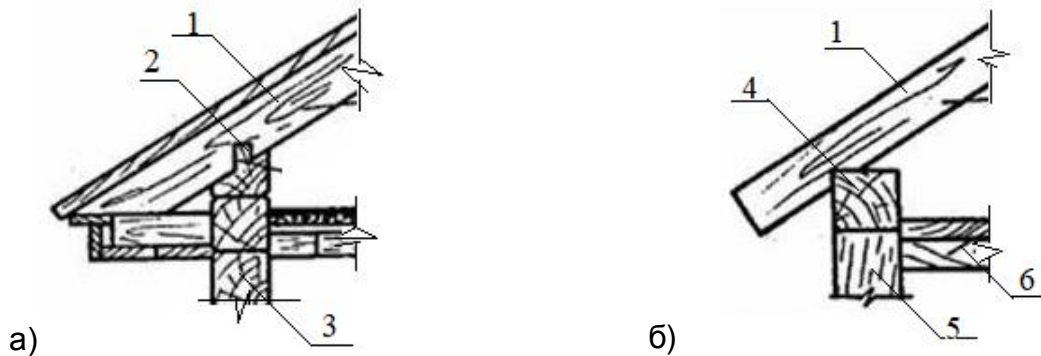
1 – стропильная нога; 2 – мауэрлат; 3 – коньковый прогон; 4 – металлический уголок;  
5 – специальная металлическая пластина; 6 – металлическая скоба; 7 – металлическая  
зубчатая пластина; 8 – деревянная бобышка; 9 – крепежные стальные пластины  
ползуна; 10 – гвозди; 11 – скоба

- а) – нижние опорные узлы стропильных ног с горизонтальным скосом без выпуска за стену;  
б) – нижние опорные узлы стропильных ног с выпусками за стену; в) – узел опирания  
стропильной ноги на прогон через бобышку, соединенную со стропильной ногой;  
г) – узел опирания стропильной ноги на прогон с использованием горизонтальной  
врубki со скосом и стальной пластины; д) – узлы опирания стропильных ног  
на коньковый прогон с использованием врубок со скосами

**Рисунок 3.6 – Некоторые схемы шарнирно подвижных опорных узлов односкатных и двускатных наслонных стропил**

**3.2.3** Опираение наслонных стропил в брусчатых или рубленых зданиях выполняют с использованием шипового соединения (рисунок 3.7а), а в деревянных каркасных зданиях – с использованием врубки без скосов (рисунок 3.7б).

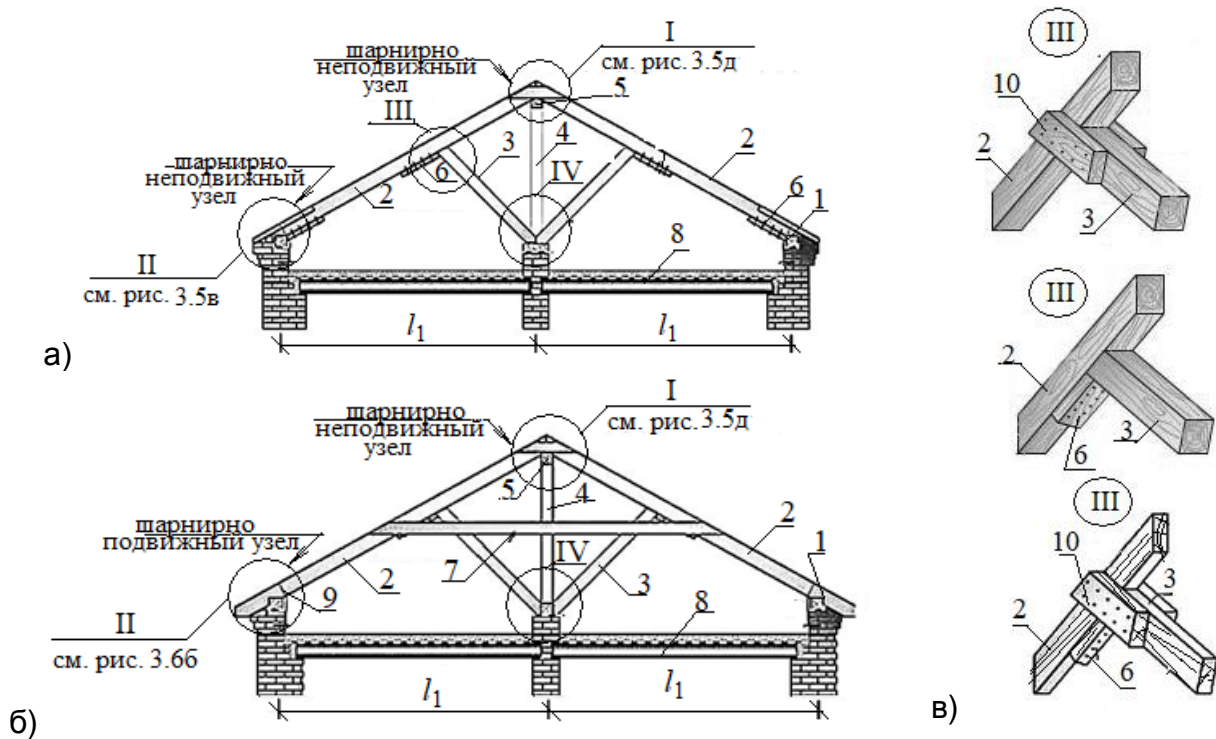
**3.2.4** Односкатные наслонные стропила с горизонтальными скосами, опирающиеся на мауэрлат (рисунок 3.1), относятся к безраспорным конструкциям. Примеры узловых соединений стропил с мауэрлатом приведены на рисунке 3.8.



1 – стропильная нога; 2 – шип; 3 – стеновой брус; 4 – обвязочный брус;  
5 – стойка (колонна) каркаса; 6 – деревянная балка перекрытия  
а) – схема узла опирания стропил на брусчатые стены;  
б) – схема узла опирания стропил на обвязочный брус деревянного каркаса

**Рисунок 3.7 – Схемы узлов опирания наслонных стропил в деревянных зданиях**

**3.2.5** Примеры двускатных наслонных стропильных систем с подкосами приведены на рисунке 3.8.



1 – мауэрлат; 2 – стропильная нога; 3 – подкос; 4 – стойка; 5 – коньковый прогон;  
6 – упорный брус; 7 – ригель; 8 – балка чердачного перекрытия; 9 – проволоочная скрутка затяжки стропил к стене здания; 10 – боковые накладки

а) – распорная наслонная стропильная система; б) – безраспорная наслонная стропильная система; в) – схемы конструктивных решений узловых соединений подкосов и стропильных ног

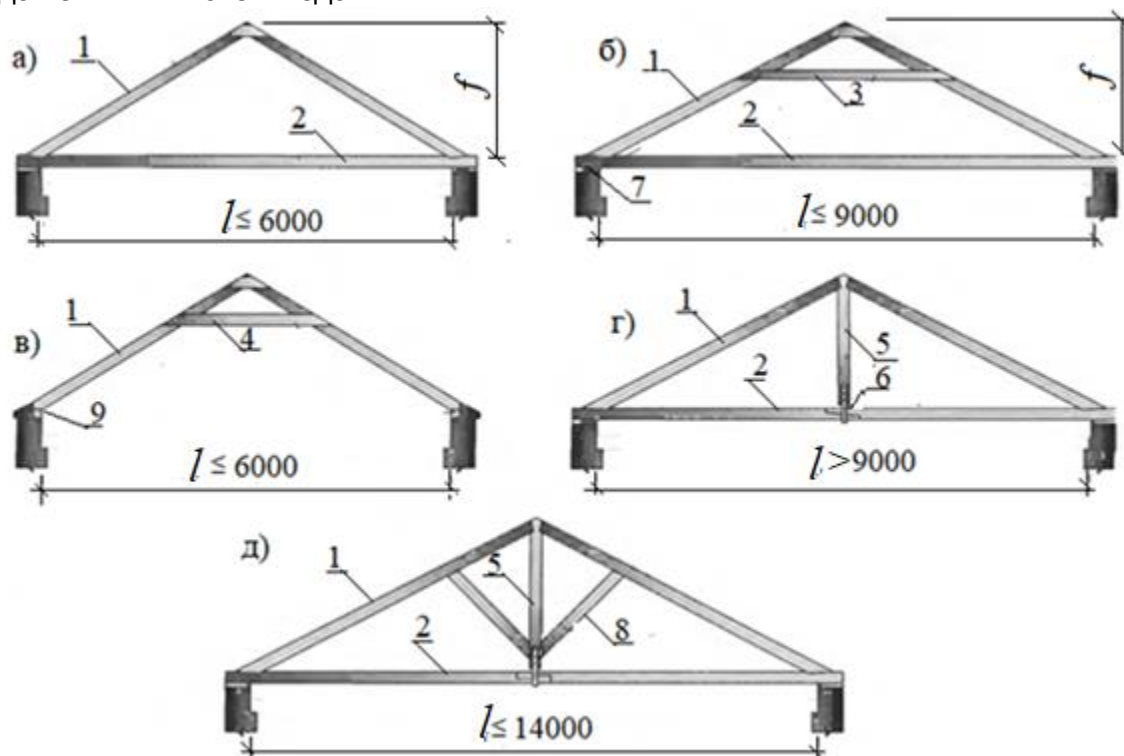
**Рисунок 3.8 – Схемы поперечных разрезов двускатных наслонных стропильных систем**

**3.2.6** В распорных стропильных конструкциях низ стропильной ноги соединяется с упорным брусом 3 или на ней выполняется врубка (запил) зубом (рисунок 3.5а, б), который упирается в мауэрлат, а в коньковой части стропильной ноги выполняется увеличенная горизонтальная врубка со скосом (рисунок 3.5 г). Глубина  $h_1$  врубки в верхней части стропильной ноги не должна превышать  $0,25 h_c$ , где  $h_c$  – высота поперечного сечения стропильной ноги. Длина подрезки  $l_c$  (площадки опирания) принимается не более высоты поперечного сечения  $h_c$  стропильной ноги. Длина скошенной подрезки должна быть не менее двух глубин врубки.

## 4 Висячие стропильные системы

### 4.1 Конструктивные схемы висячих стропильных систем

**4.1.1** Висячие стропильные системы в жилых зданиях (рисунок 4.1) применяют реже, чем наслонные стропильные системы, что обусловлено сложностью их изготовления и монтажа. Достоинством висячих стропильных систем является то, что возведенные с их использованием крыши не нуждаются в промежуточных опорах. Разновидностью висячих стропильных систем являются трехшарнирные арки стрельчатого очертания из прямолинейных элементов, изготовленных из клееной древесины или многослойного клееного шпона (LVL) со стальной затяжкой и опирающиеся на стены здания или без затяжки, опирающиеся на железобетонные фундаменты или стены здания .



1 – стропильная нога; 2 – затяжка; 3 – ригель; 4 – приподнятая затяжка;  
5 – подвеска (бабка); 6 – хомут; 7 – подбалка; 8 – подкос; 9 – мауэрлат  
а) – в виде арки с затяжкой; б) – в виде арки с затяжкой и ригелем;  
в) – в виде арки с приподнятой затяжкой; г) – в виде арки с затяжкой  
и подвеской в коньке; д) – в виде арки с затяжкой, подкосами и подвеской в коньке  
**Рисунок 4.1 – Схемы поперечные разрезов висячих стропильных систем**

**4.1.2** Основным конструктивным элементом висячей стропильной системы является трехшарнирная арка с затяжкой, расположенной по низу стропильных ног или приподнятой от низа на определенную высоту. Последнее конструктивное решение используют при устройстве мансардных чердаков.



Затяжки, как и стропильные ноги, изготавливают из древесины (пиломатериалы, древесина клееная, многослойный клееный шпон (LVL)), а в некоторых случаях затяжку могут изготавливать из стальных элементов.

**4.1.3** В висячих стропильных системах стрелу пролета  $f$  в коньковом узле рекомендуется принимать не менее  $1/6$  от длины пролета  $l$ .

**4.1.4** Все элементы висячей стропильной системы должны быть проверены на соблюдение условий предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности. Проверку стропильных ног выполняют как для сжато-изгибаемых элементов, затяжку – как для растянутых элементов, а в случаях, когда затяжка выполняет еще функцию балки чердачного перекрытия, – то как для растянуто-изгибаемого элемента. Проверки выполняют для наиболее невыгодной комбинации нагружения и соответствующего расчетного значения прочности материала.

**4.1.5** Для уменьшения изгибающего момента, возникающего в стропильных ногах от действия внешних нагрузок, рекомендуется при соединении стропил лобовым упором в коньковом узле выполнять подрезку их верхних частей, что приводит к появлению эксцентриситета  $e$ , расположенного ниже продольной оси стропильной ноги. Наличие эксцентриситета  $e$  в коньковом узле приводит к появлению в стропильных элементах противоположного по знаку изгибающего момента, значение которого учитывают при определении расчетного значения изгибающего момента при выполнении проверок.

**4.1.6** При проектировании висячих стропильных систем из пиломатериалов для зданий пролетом  $l$  более 9 м используют схемы, приведенные на рисунке 4.1д. Использование данных схем позволяет уменьшить прогиб затяжки, а также использовать для ее изготовления пиломатериалы (брусья), имеющие ограниченную длину. Подвеску в данных схемах выполняют как из пиломатериала (в этом случае ее называют бабкой), так и в виде стального тяжа.

Подвеска в схеме рисунка 4.1г воспринимает усилие растяжения, вызванное собственным весом затяжки. В чердачных мансардных этажах подвеску рекомендуется выполнять из древесины, а в чердачных неэксплуатируемых крышах – в виде стальных тяжей.

**4.1.7** При изготовлении подвески из древесины (бруса) его нижний торец не должен вплотную примыкать к поверхности затяжки. Один из узлов крепления затяжки должен быть законструирован таким образом, чтобы была возможность регулировки ее натяжения.

**4.1.8** При проектировании висячих стропильных систем из пиломатериалов для зданий пролетом  $l \leq 6$  м используют схемы, приведенные на рисунке 4.1а и рисунке 4.1в. В схеме стропильной системы (рисунок 4.1в) затяжка установлена не по низу стропильных ног, а приподнята вверх, усилие растяжения в которой увеличивается с увеличением высоты подъема. При такой схеме опирание стропильных ног осуществляется на мауэрлат по схеме шарнирно-подвижной опоры с выносом конца стропил за стены (рисунок 3.6б). Такая конструкция является безраспорной по отношению к стенам здания и мауэрлату.

При выполнении опорного узла шарнирно-неподвижным, с использованием врубки с зубом и упором в мауэрлат или упорного бруска, соединенного на гвоздях со стропильной ногой, устойчивость системы повышается. При такой конструкции опорного узла система является распорной. Для восприятия распора мауэрлат должен быть надежно закреплен со стенами здания. В такой схеме висячей системы, при проверке предельных состояний несущей способности, стропильные ноги рассматривают как сжато-изгибаемые элементы, а затяжки – как растянуто-изгибаемые или растянутые элементы, в зависимости от наличия действия на них

функциональных нагрузок. Во избежание передачи распора на наружные стены или раму из элементов мауэрлата, по низу стропил устраивают затяжку, воспринимающую распор (рисунок 4.1б). При такой схеме стропильной системы (рисунок 4.1б) приподнятая затяжка выполняет функцию сжатого элемента (ригеля). При проверке предельных состояний несущей способности стропильные ноги рассматривают как двухпролетные сжато-изгибаемые элементы, ригели в чердачных помещениях – как сжато-изгибаемые элементы, а затяжки – как растянуто-изгибаемые или растянутые в зависимости от наличия действия на них функциональных нагрузок.

**4.1.9** При длине пролета  $l$  более 9 м для уменьшения прогиба затяжки висячей стропильной системы применяют схему, приведенную на рисунке 4.1д. В данной схеме уменьшение прогиба затяжки происходит не только за счет подвески, но и в результате уменьшения свободной длины стропильных ног при установке подкосов, соединенных в нижней части с подвеской (бабкой). При проектировании данной стропильной системы с использованием пиломатериалов, затяжка выполняется из двух элементов, которые стыкуют в середине пролета косым или прямым прирубом, опирая на хомут, прикрепленный к бабке (подвеске). При изготовлении затяжки из одного элемента цельного сечения по всей длине (из клееной древесины или LVL), ее присоединяют к бабке хомутом или врубкой.

Проверку предельных состояний несущей способности элементов принятой стропильной системы выполняют:

- стропильной ноги – как двухпролетного сжато-изгибаемого элемента;
- бабки – как растянутого элемента;
- подкоса – как центрально-сжатого элемента;
- затяжки – как растянутого или растянуто-изгибаемого элемента.

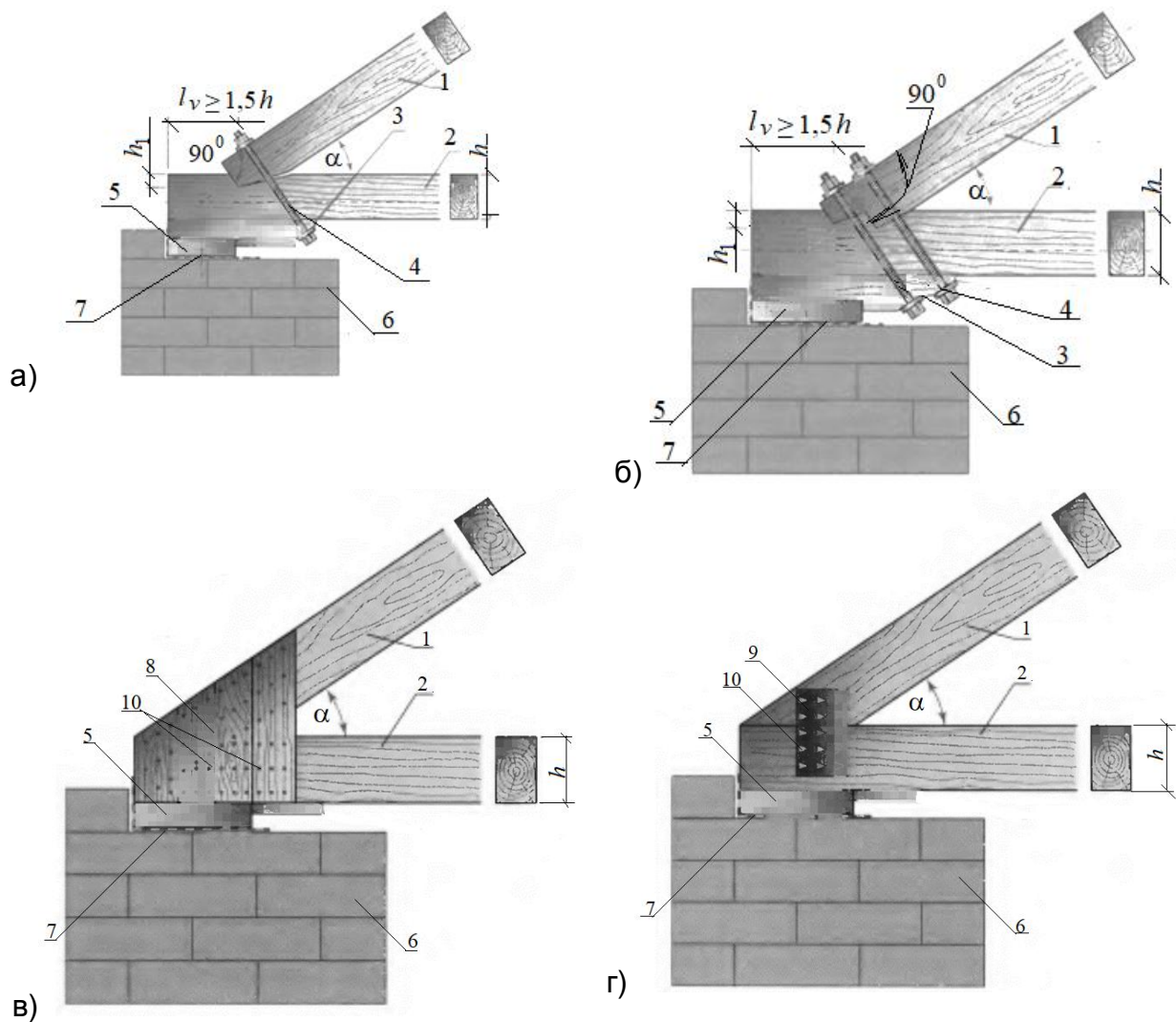
## **4.2 Узловые соединения элементов висячих стропильных систем**

**4.2.1** Для висячей стропильной системы (рисунки 4.1в и г) соединение стропильной ноги с затяжкой может быть выполнено с использованием врубок с одним или двумя зубьями, боковых накладок из древесины или стали, присоединенных к элементам узла с помощью механических связей (гвоздей, винтов, болтов), металлических зубчатых пластин (рисунок 4.2). При выборе конструктивной схемы опорного узла учитывают величину перекрываемого пролета здания, климатический район строительства, материал и параметры поперечных сечений соединяемых элементов.

Для висячей стропильной системы чаще всего используют узловые соединения на боковых накладках (рисунки 4.2в, г). Соединения на врубках используют в стропильных системах пролетами 9 м и более.

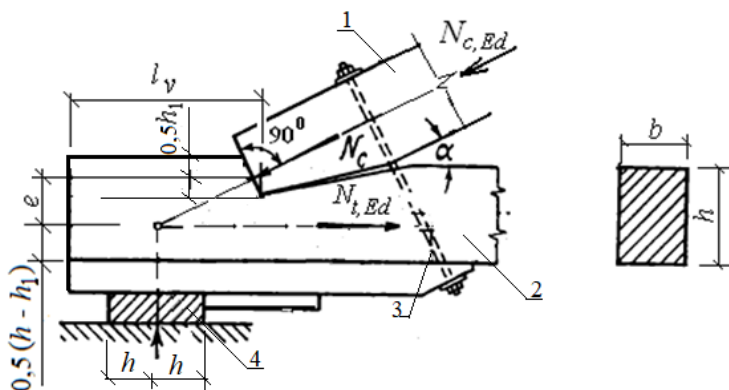
В лобовых врубках с одним или двумя зубьями обе площадки лобовых упоров в затяжке должны быть расположены перпендикулярно к оси примыкаемого элемента (стропильной ноги). В узлах, где примыкание одного элемента к другому осуществляется под большим углом, целесообразно использовать не ортогональное решение врубки, а биссектрисное, т. е. когда торец стропильной ноги отпиливают по биссектрисе внешнего угла примыкания стропильной ноги и затяжки.

**4.2.2** В лобовых врубках с одним зубом (рисунок 4.2а) упорную площадку в затяжке располагают таким образом, чтобы ось примыкающей сжатой стропильной ноги проходила через центр этой площадки (рисунок 4.3). Оси стыкуемых элементов (стропильной ноги и затяжки) должны пересекаться в одной точке с вертикальной осью подкладки 4 (рисунок 4.3). Ось затяжки располагается по центру ослабленного сечения врубкой. Если данные условия невозможно выполнить, то необходимо изменить поперечное сечение элементов соединения или изменить конструктивное решение узла.



- 1 – стропильная нога; 2 – затяжка; 3 – подбалка; 4 – стяжной болт;  
 5 – деревянная подкладка; 6 – стена здания; 7 – гидроизоляционный материал;  
 8 – боковые накладки из досок; 9 – боковые накладки из стали; 10 – гвозди или винты
- а) – узловое соединение стропильной ноги с затяжкой с помощью лобовой врубки с одним зубом; б) – узловое соединение стропильной ноги с затяжкой с помощью лобовой врубки с двумя зубьями; в) – узловое соединение стропильной ноги с затяжкой с помощью боковых деревянных накладок и гвоздей (винтов); г) – узловое соединение стропильной ноги с затяжкой с помощью боковых стальных накладок и гвоздей (винтов)

**Рисунок 4.2 – Конструктивные решения карнизных узлов висячей стропильной системы**



1 – стропильная нога; 2 – затяжка; 3 – стяжной болт; 4 – опорная подкладка  
**Рисунок 4.3 – Конструктивная схема лобовой ортогональной врубки**

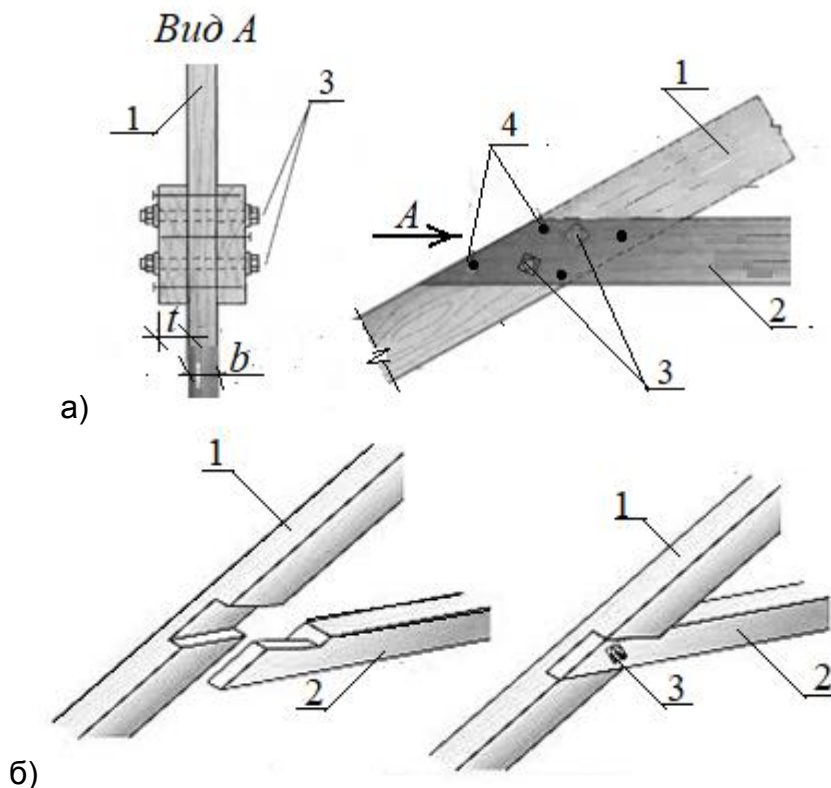
В лобовых врубках с двумя зубьями обе упорные площадки в затяжке располагают перпендикулярно к оси стропильной ноги. Упорную площадку второго (более глубокого) зуба располагают так, чтобы ее начало было в точке пересечения оси стропильной ноги с верхней кромкой ослабленной затяжки, а площадка сдвига (скалывания) этого зуба была расположена не менее чем на 20 мм ниже площадки скалывания первого зуба. Применение врубок с двумя зубьями с одинаковой глубиной резки не допускается.

**4.2.3** Во врубках стяжные стальные болты 4 (рисунок 4.2) следует рассматривать как конструктивные элементы узлового соединения, выполняющие функции аварийных и монтажных связей. Диаметр болтов принимают  $1/25$  от его длины, но не менее чем  $d = 12 \div 16$  мм.

Толщину подбалок 3 (рисунок 4.2) принимают не менее 60 мм. Соединение подбалок с затяжкой выполняют с использованием гвоздей длиной от 125 мм до 175 мм.

**4.2.4** Для висячей стропильной системы (рисунок 4.1в) с приподнятой затяжкой опорные узлы соединения стропильной ноги с мауэрлатом выполняют как и для наслонных стропильных систем (рисунок 3.5а–в) и (рисунок 3.6а, б).

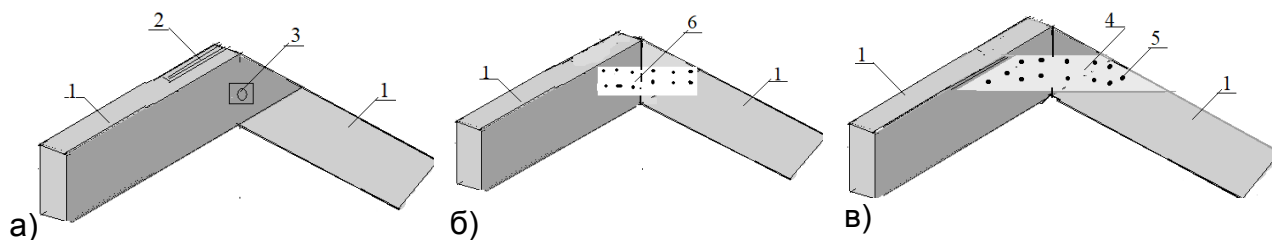
Соединение приподнятой затяжки со стропильной ногой выполняют с использованием боковых накладок из пиломатериалов или стальных пластин, прикрепляемых с использованием гвоздей (винтов), или применяют МЗП, соединения в полдерева или внахлест с установкой болтов, а также врубкой полусковороднем с конструктивным креплением болтом диаметром 12–14 мм (рисунок 4.4).



1 – стропильная нога; 2 – деревянная затяжка; 3 – болт; 4 – монтажные гвозди  
а) – соединение внахлест; б) – соединение врубкой полусковороднем

**Рисунок 4.4** – Схемы узловых соединений стропильной ноги с приподнятой затяжкой

**4.2.5** Коньковые узлы стропильных систем для схем, приведенных на рисунке 4.1 а-в, выполняют с помощью лобового упора стропил и боковых накладок, шипового соединения с монтажным стяжным болтом (рисунок 4.5).

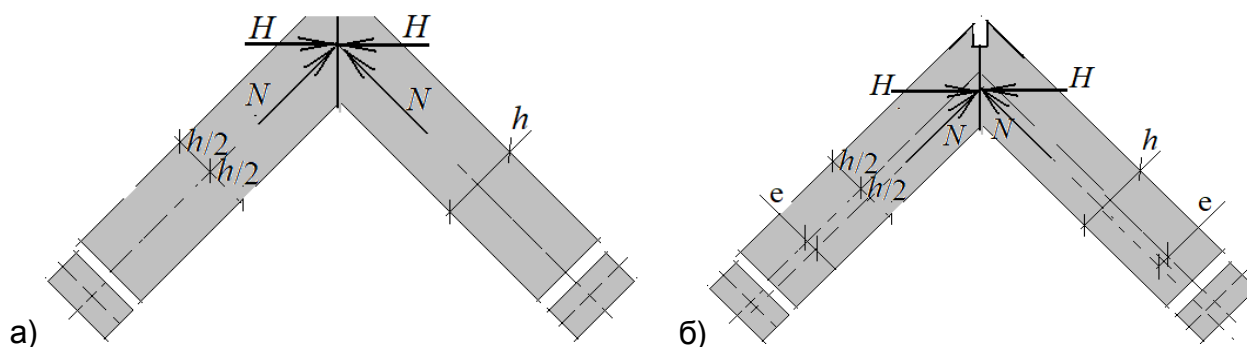


1 – стропильная нога; 2 – шип; 3 – стальной болт; 4 – деревянная накладка;  
5 – гвоздь или винт; 6 – стальная накладка

а) – соединение стропильных ног с использованием шипа и стяжного болта;  
б) – соединение стропильных ног с помощью лобового упора и боковых металлических накладок или металлических зубчатых пластин; в) – соединение стропильных ног с использованием лобового упора и боковых деревянных накладок

**Рисунок 4.5 – Конструктивные решения коньковых узлов висячей стропильной системы**

С целью уменьшения изгибающего момента в поперечных сечениях стропильных ног, обусловленного действием на покрытие постоянных и переменных нагрузок, в коньковых узлах стропильных ног создается эксцентриситет (рисунок 4.6 б).



а) – без эксцентриситета; б) – с эксцентриситетом внутренних усилий в узле

**Рисунок 4.6 – Схемы действия внутренних усилий в коньковых узлах стропильной системы**

**4.2.6** Коньковые узлы стропильных систем для схем, приведенных на рисунке 4.1 г и д, выполняют с помощью лобовых врубок стропильных ног и подвески, которую изготавливают из древесины. Все элементы в коньковом узле объединяются скобами или боковыми накладками. Если подвеска выполнена в виде стального тяжа, соединение стропил выполняют с использованием лобового упора торцов и соединяют боковыми накладками на болтах (рисунок 4.7 а).

Соединение стропильных ног с затяжкой выполняют с использованием ортогональных врубок или боковых накладок (рисунок 4.2).

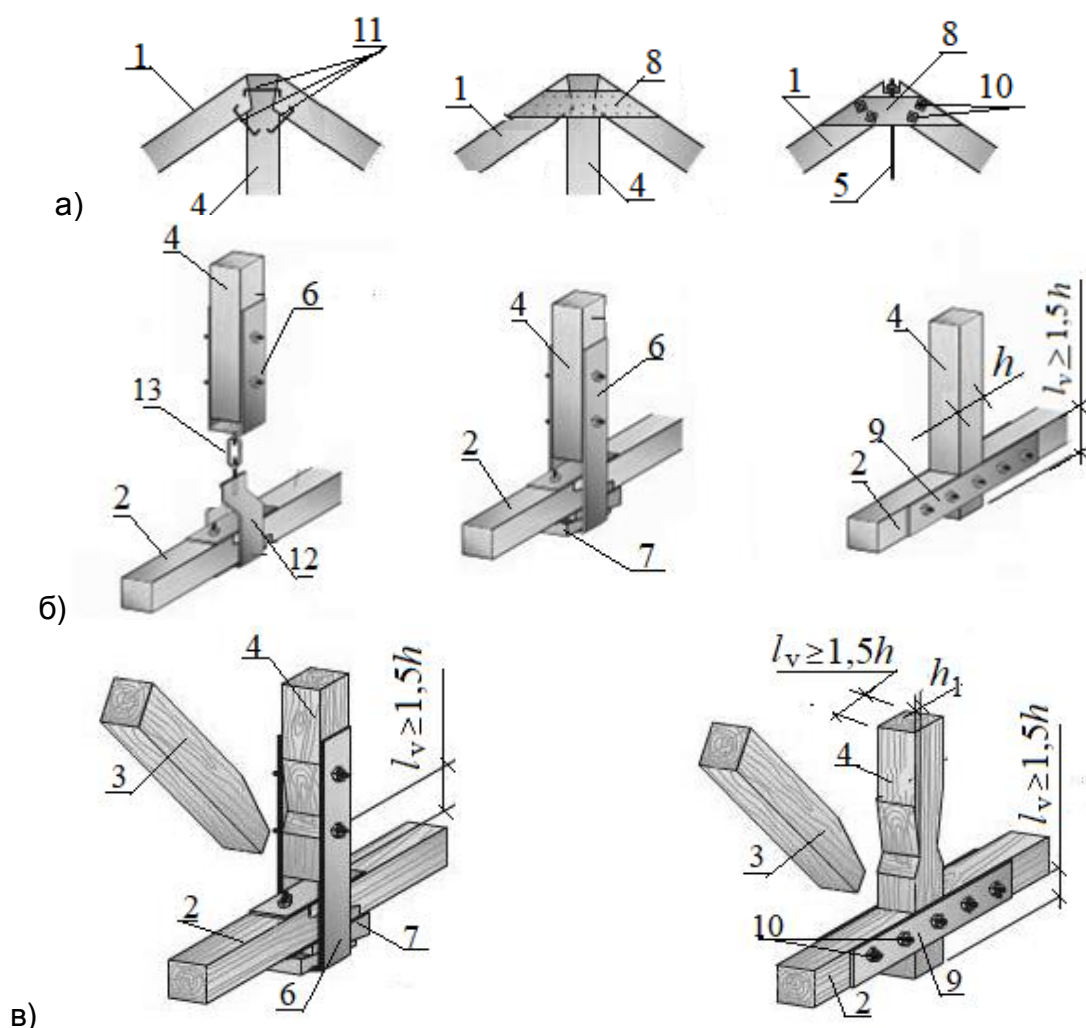
Соединение подкосов со стропильными ногами выполняют непосредственным упором торца подкоса в нижнюю грань стропильной ноги. Во избежание относительного смещения подкоса по отношению к стропильной ноге их соединяют посредством боковых накладок или подкладок (рисунок 3.8 в).

Соединения затяжки с подвеской из древесины могут выполняться с использованием хомута, охватывающего поперечное сечение затяжки из двух элементов, изогнутой стальной пластины, присоединенной к подвеске на болтах и соединенной с хомутом посредством муфты (скрутки). Вторым вариантом соединения подвески с затяжкой является использование стальной изогнутой пластины, горизонтальный участок которой является опорой для затяжки, состоящей из двух элементов. Стальная изогнутая пластина крепится к подвеске с помощью болтов. Еще одним из вариантов соединения затяжки с подвеской является использование врубки в подвеске



и элементах затяжки, соединенных боковыми стальными пластинами на болтах (рисунок 4.7 б).

Соединение затяжки, подкосов и подвески выполняют с использованием врубок и стальных изогнутых пластин или же врубок и стальных боковых пластин на болтах (рисунок 4.7а, в).



1 – стропильная нога; 2 – затяжка из древесины; 3 – подкос; 4 – подвеска из деревянного элемента (бабка); 5 – подвеска из стали; 6 – изогнутая стальная пластина; 7 – подкладки из древесины; 8 – боковые накладки; 9 – боковые стальные накладки; 10 – болты; 11 – скобы; 12 – хомут; 13 – муфта

а) – варианты схем соединений стропильной ноги с подвеской;

б) – варианты схем соединений деревянной подвески с затяжкой;

в) – варианты схем соединения подкосов с подвеской и затяжкой

**Рисунок 4.7 – Схемы узловых соединений элементов стропильной системы**

## 5 Рекомендации по конструированию и расчету деревянных стропильных систем

Проектирование деревянных стропильных систем выполняют в следующем порядке:

- анализ плана здания и выбор формы скатной крыши;
- разработка и компоновка геометрической формы крыши и стропильной системы (выбор материала кровли, уклона крыши, вида обрешетки, прогонов, стропильных ног, подстропильной конструкции, узловых соединений элементов и определение их размеров);

- выбор расположения основных несущих элементов и узлов соединения со стенами здания для принятой стропильной системы;
- назначение материалов для элементов принятой стропильной системы;
- определение расчетных значений нагрузок и разработка расчетной схемы для принятой стропильной системы;
- выполнение статического расчета по определению внутренних усилий в сечениях элементов стропильной системы для расчетных комбинаций нагружения;
- конструирование узлов соединения элементов стропильной системы;
- проверка предельных состояний элементов и узлов стропильной системы.

## 5.1 Разработка и компоновка геометрической формы крыши

**5.1.1** Разработка геометрической формы крыши включает в себя анализ плана здания, определение уклона крыши, длин пролетов и несущих элементов стропильной системы, а также высотных отметок опор и конька.

**5.1.2** Угол наклона крыши назначают исходя из применяемого материала кровли, который принимают в соответствии с рекомендациями таблицы 2.1.

**5.1.3** При выборе типа стропильной системы учитывают расположение несущих стен здания, условия эксплуатации элементов крыши, функциональное назначение чердачного пространства, архитектурное решение здания и его стиль и т. п.

**5.1.4** За расчетные оси стропильной системы рекомендуется принимать оси здания, проходящие через центры карнизного и конькового узлов. Предварительное сечение стропильных ног рекомендуется принимать из таблицы 5.1. При предварительном назначении высоты поперечного сечения стропильной ноги в утепленных кровлях необходимо учитывать толщину утеплителя.

**Таблица 5.1 – Рекомендуемые параметры поперечных сечений стропильных ног из пиломатериалов**

Шаг установки стропил, мм	Длина стропильного элемента, м						
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	Размер поперечного сечения $b \times h$ , мм						
600	40x150	40x175	50x150	50x150	50x175	50x200	50x200
900	50x150	50x175	50x200	75x175	75x175	75x200	75x200
1100	75x125	75x175	75x175	75x175	75x200	75x200	100x200
1400	75x150	75x175	75x200	75x200	75x200	100x200	100x200
1750	75x150	75x200	75x200	100x200	100x200	100x250	100x250
	100x150	100x175	100x200	100x200	100x250	100x250	–

**5.1.5** Поперечное сечение мауэрлата зависит от принятого типа стропильной системы. В распорной стропильной системе мауэрлат принимают в виде деревянного бруса поперечным сечением  $b_m \times h_m = 100 \times 100$  мм,  $150 \times 100$  мм,  $150 \times 150$  мм, а в безраспорной – из досок  $50 \times 150$  мм и  $50 \times 200$  мм.

**5.1.6** При конструировании стропильной системы опорные стойки и подкосы прямоугольным поперечным сечением  $b \times h$  должны иметь гибкость  $\lambda_{\max}$  не более 150, что ориентировочно соответствует  $l/b \leq 44$ , а элементов связей  $\lambda_{\max} \leq 200$ , т. е.  $l/b \leq 58$ , где  $l$  – длина элемента;  $b$  – ширина поперечного сечения элемента.

**5.1.7** Вид обрешетки и шаг ее элементов принимают в зависимости от материала кровли, руководствуясь рекомендациями, приведенными в таблице 2.1.

## 5.2 Определение значений нагрузок

**5.2.1** При проектировании стропильных систем значения постоянных и переменных нагрузок определяют в соответствии с требованиями [1, 2, 9, 10].

### 5.2.2 Расчётные значения нагрузок определяют по формулам [1]:

– для постоянных нагрузок

$$g_d = g_k \cdot \gamma_G ; \quad (5.1)$$

– для переменных нагрузок

$$q_d = q_k \cdot \gamma_Q ; \quad (5.2)$$

где  $g_d$  и  $q_d$  – расчетное значение постоянной и переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины, кН/мм<sup>2</sup> или кН/мм;

$\gamma_G = 1,35$  и  $\gamma_Q = 1,50$  – частные коэффициенты для постоянных и переменных нагрузок, учитывающие возможность неблагоприятных отклонений от характеристических значений;

$g_k$  и  $q_k$  – характеристическое значение постоянной и переменной нагрузки, приходящейся на единицу площади или длины, кН/мм<sup>2</sup> или кН/мм.

**5.2.3** Расчет элементов стропильных систем выполняют с учетом действия постоянных нагрузок от собственного веса элементов стропильной системы, кровли, утеплителя, если таковой используется, пароизоляционной или противоконденсатной пленки, а также переменных – среднесрочной снеговой и кратковременной от давления ветра.

Согласно требованиям [9] характеристическое значение постоянной нагрузки на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности от объемного веса  $i$ -го элемента покрытия определяют по формуле

$$g_{1,ik} = \frac{b_i \cdot h_i \cdot \gamma_i}{s_i}, \quad (5.3)$$

где  $b_i$ ,  $h_i$  и  $s_i$  – ширина, высота поперечного сечения и шаг  $i$ -го элемента стропильной системы соответственно, м;

$\gamma_i$  – объемный вес материала  $i$ -го элемента, кН/м<sup>3</sup>, значение которого принимают из таблиц [9].

Характеристическое и расчетное значения снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия определяют в соответствии с [2] по формуле

$$q_{ks} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k, \quad (5.4)$$

где  $\mu_1$  – коэффициент формы снеговых нагрузок, значение которого для угла ската крыши  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$  согласно [2] принимают равным 0,8, а для  $\alpha > 30^\circ$  определяют по формуле (5.5);

$C_e$  – коэффициент, значение которого зависит от условий местности;

$C_t$  – коэффициент, значение которого принимается в зависимости от теплоизоляции конструкции покрытия;

$S_k$  – характеристическое значение снеговой нагрузки на грунт, значение которого принимают в зависимости от района строительства.

$$\mu_1 = \frac{0,8 \cdot (60^\circ - \alpha)}{30^\circ}. \quad (5.5)$$



Для обычных условий эксплуатации покрытия значения коэффициентов  $C_e$  и  $C_t$  принимают равными единице.

Характеристическое значение ветровой нагрузки, действующей на  $1 \text{ м}^2$  поверхности покрытия стропильной системы определяют в соответствии с требованиями [10].

Согласно [10] для двускатных покрытий в зависимости от высоты в коньке и длины здания, поверхность кровли разбивают на зоны.

При направлении набегающего потока ветра перпендикулярно продольной стене и перпендикулярно фронтонам поверхность ската разбивают на 5 зон. Для каждой зоны покрытия определяют характеристические значения ветровой нагрузки при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давления, используя формулу

$$q_{1wl,k} = (c_{pe} + c_{pi}) \cdot q_p(z), \quad (5.6)$$

где  $c_{pe}$  и  $c_{pi}$  – коэффициент наружного и внутреннего давления на доминантной поверхности, определяемые в соответствии с [10];

$q_p(z)$  – пиковое значение скоростного напора, определяемое по формуле

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b, \quad (5.7)$$

здесь  $I_v(z)$  – интенсивность турбулентности определяется по формуле (5.8) и (5.9), значение которого определяют в соответствии с [6];

$v_m(z)$  – средняя скорость ветра на высоте  $z$  над уровнем земли, значение которой определяют по формуле (5.10);

$\rho$  – плотность воздуха, значение которой рекомендуется принимать равным  $1,25 \text{ кг/м}^3$ ;

$q_b$  – базовое значение скоростного напора ветра, определяемое по формуле (5.11).

$$I_v(z) = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, \quad (5.8)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{для } z \leq z_{\min}, \quad (5.9)$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b, \quad (5.10)$$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2, \quad (5.11)$$

здесь  $c_0(z)$  – орографический коэффициент, значение которого рекомендуется принимать равным единице;

$c_r(z)$  – коэффициент, учитывающий тип местности и определяемый по формулам (5.12) и (5.13);

$v_b(z)$  – средняя скорость ветра над уровнем земли, определяемая по формуле (5.14).

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{для } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}, \quad (5.12)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{для } z \leq z_{\min}, \quad (5.13)$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}, \quad (5.14)$$

где  $C_{dir}$  – коэффициент учитывающий направление ветра, значение которого определяют из таблицы 5.2;

$C_{season}$  – сезонный коэффициент, значение которого рекомендуется принимать равным единице;

$V_{b,0}$  – основное значение базовой скорости ветра для данного ветрового района.

**Таблица 5.2 – Значения коэффициента  $C_{dir}$ , учитывающего направление ветра [10]**

Сектор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Направление ветра град.	346	16	46	76	106	136	166	196	256	256	286	316
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345
$C_{dir}$	0,80	0,7	0,78	0,78	0,79	0,84	0,76	0,77	0,95	1,00	0,94	0,96

**5.2.4** В соответствии с правилами [5] и требованиями [1] проверки предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности элементов стропильных систем выполняют, используя метод частных коэффициентов.

Целью данных проверок является то, чтобы во всех соответствующих расчетных ситуациях ни одно из значимых предельных состояний не было превышено, т. е.

– для предельных состояний несущей способности

$$E_{d,USL} \leq R_d, \quad (5.15)$$

– для предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$U_{E,d} \leq U_{c,d}, \quad (5.16)$$

где  $E_{d,USL}$  – расчетное значение эффекта воздействия (усилия, момента);

$R_d$  – расчетное значение сопротивления сечения, опорной площадки/несущей способности соединения, конструкции;

$U_{E,d}$  – расчетное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;

$U_{c,d}$  – предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции, установленное в [5] или [6].

Предельные значения прогибов элементов наклонных стропильных систем не должны превышать:

- для прогонов и стропильных ног (кроме накосных) – 1/200 от их пролетов;
- для консольных выпусков прогонов – 1/150 от длины консоли;
- для диагональных (накосных) стропильных ног – 1/400 от их пролетов;
- для обрешетки и настилов – 1/150 от их пролетов.

**5.2.5** При выполнении проверок предельных состояний элементов стропильной системы и их узлов в соответствующих расчетных ситуациях, отдельные нагрузки объединяют в комбинации (сочетания) по правилам, установленным в [1, 5], определяя таким образом значения эффектов воздействий – внутренних усилий в сечениях элементов конструкции, используя следующие формулы:

– для проверок предельных состояний несущей способности

$$E_{d,USL} = \left\{ \begin{array}{l} k_{FI} \cdot \left( \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} \Psi_{0,1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right), \end{array} \right. \quad (5.17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{FI} \cdot \left( \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right); \end{array} \right. \quad (5.18)$$

– для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$E_{d,inst,SLS} = k_{FI} \cdot \left( \sum G_{k,j} + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} Q_{k,i} \right), \quad (5.19)$$

$$E_{d,creep,SLS} = k_{FI} \cdot \left( \sum G_{k,j} + \sum \psi_{2i} Q_{k,i} \right), \quad (5.20)$$

где  $k_{FI}$  – коэффициент, значение которого принимают в зависимости от класса последствий в соответствии с требованиями [1];

$\gamma_{G,j}$  – частный коэффициент для постоянного  $j$ -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [1];

$\gamma_{Q,i}$  – частный коэффициент для переменного  $i$ -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [1];

$\psi_0$  – коэффициент преобразования переменных воздействий в комбинационное значение; принимают по таблице 5.3 в [1];

$\psi_{2i}$  – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия; принимают по таблице 5.3 в [1];

$\xi$  – коэффициент уменьшения неблагоприятных постоянных воздействий; определяют в соответствии с требованиями [1];

$G_{k,j}$  – характеристическое значение постоянного  $j$ -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [9];

$Q_{k1}$  – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия; определяют в соответствии с требованиями [2, 10].

Примечания:

1. При учете сочетаний, включающих постоянные и не менее двух переменных нагрузок, расчетные значения переменных нагрузок или соответствующих им усилий (эффектов воздействий) определяются из выражений (5.17–5.18), т. е. умножаются на коэффициенты сочетаний, установленные в [5, 6].

2. При учете основных сочетаний, включающих постоянные нагрузки и одну переменную нагрузку (длительную, среднесрочную или кратковременную), значения коэффициентов  $\xi$  и  $\psi$  в выражениях (5.17–5.18) принимают равными единице.

**5.2.6** В соответствии с требованиями [1]:

– для класса последствий СС1, значение  $k_{FI} = 0,9$ ;

– для класса последствий СС2, значение  $k_{FI} = 1,0$ ;

– для класса последствий СС3, значение  $k_{FI} = 1,1$ .

**5.2.7** При проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности элементов стропильной системы определяют полный прогиб в соответствии с правилами п. 5.4.7 [5], т. е.

$$U_{E,d} = U_{fin} = U_{inst} + U_{creep}, \quad (5.21)$$

где  $U_{E,d}$  – расчетное значение прогиба;

$U_{inst} = U_{g,inst} + U_{q,inst}$  – начальный прогиб от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания;

$U_{creep}$  – значение прогиба в результате ползучести древесины при длительном действии нагрузок для практически постоянного воздействия, определяемое по формуле (5.22).

**5.2.8** Значение прогиба в результате ползучести древесины и материалов на ее основе при длительном действии нагрузок определяют по формуле

$$u_{creep} = k_{def} \cdot u_{g,inst}, \quad (5.22)$$

где  $k_{def}$  – коэффициент ползучести, значение которого принимают по таблице 5.5 [5].

**5.2.9** Характеристические значения  $f_k$  прочности, а также среднее значение модуля  $E_{mean}$  упругости древесины или материалов на ее основе, принимают из таблиц Б.1, Б.2, и Б.3 приложения Б.

### 5.3 Определение значений прочностных и упругих характеристик материалов элементов стропильной системы

**5.3.1** В зависимости от пролета, величин воздействий и условий эксплуатации для элементов стропильной системы могут быть использованы такие материалы как цельная древесина, дощатоклееная древесина, древесина из клееного шпона (LVL), фанера в комбинации с дощатоклееной древесиной (дощато-фанерные стропильные ноги, прогоны) [5–8].

При проектировании стропильных систем с использованием древесных материалов предварительно определяют расчетные значения прочностных и упругих характеристик материалов элементов [5], используемых при выполнении проверок предельных состояний.

**5.3.2** Расчетные значения прочности древесины и материалов на ее основе, используемых при изготовлении элементов стропильной системы, определяют для каждого вида напряженного состояния, комбинации (сочетания) нагрузок и класса условий эксплуатации, используя формулу

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot \prod_1^n k_j, \quad (5.23)$$

где  $k_{mod}$  – коэффициент модификации (приведения), учитывающий изменение прочности древесины или материала на ее основе в зависимости от продолжительности действия нагрузки и условий эксплуатации; принимают по таблице А.3 приложения А;

$f_k$  – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе для рассматриваемого вида напряженного состояния; принимают из таблиц Б.1 – Б.3 приложения Б;

$\gamma_M$  – частный коэффициент свойств материала или изделия; принимают по таблице А.2 приложения А;

$\prod_1^n k_j$  – произведение частных коэффициентов  $k_j$ , учитывающих геометрические

параметры элемента конструкции, вид напряженного состояния и распределение напряжений в сечении элемента.

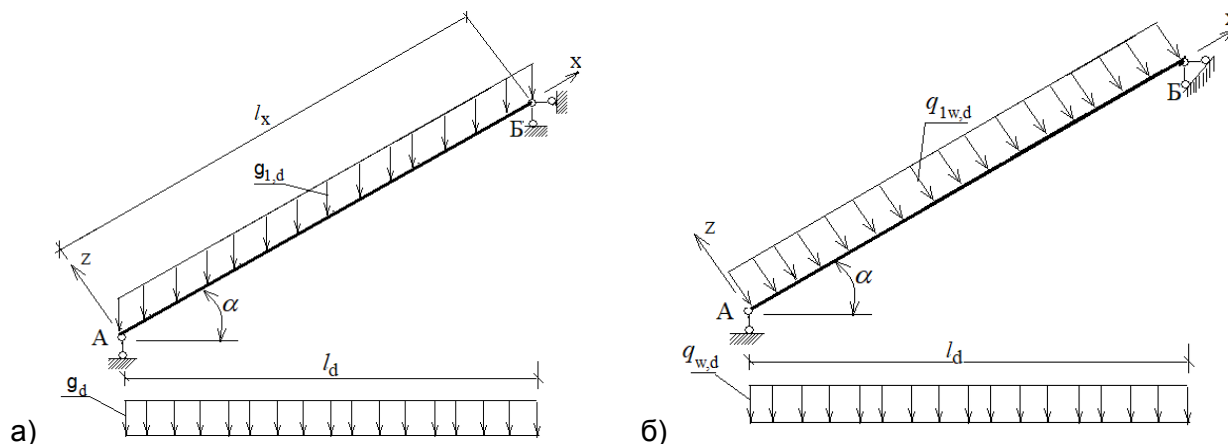
**5.3.3** Для элементов стропильных систем расчетные значения прочности материала должны определяться по правилам, установленным в п. 6.3 [5]. Согласно правилам данного пункта, в зависимости от вида напряженного состояния, расчетные значения прочности материала элемента стропильной системы рассчитываются с учетом коэффициентов  $k_h$ , и  $k_i$ , определяемых по формулам (5.33) – (5.36) [5].

### 5.4 Определение значений внутренних усилий и перемещений в сечениях элементов стропильной системы

**5.4.1** Для выполнения проверок предельных состояний элементов стропильной системы (настила, обрешетки, прогонов, стропильных ног, ригелей, стоек, подкосов) и узловых соединений первоначально определяют значения внутренних усилий, возникающих в сечениях элементов от действия снеговой нагрузки, давления ветра, веса кровельного покрытия, утеплителя и собственного веса элементов.

**5.4.2** При определении усилий в элементах обрешетки и настила учитывают следующие воздействия: собственный вес, вес кровельного покрытия и снеговую нагрузку. Определение усилий, возникающих в указанных элементах, выполняют в соответствии с рекомендациями раздела 3 [6].

**5.4.3** В наклонной стропильной системе с уклоном крыши  $\alpha \leq 10^\circ$  стропильные ноги, опирающиеся только на мауэрлат и коньковый прогон, рассчитывают как свободно опертые однопролетные балки с горизонтальной осью, а при углах  $\alpha > 10^\circ$  – как балки с наклонной осью (рисунок 5.1), воспринимающие изгиб и сжатие.



а) – при действии постоянной нагрузки; б) – при действии ветровой нагрузки  
**Рисунок 5.1 – Схемы приложения нагрузок к стропильной ноге при опирании на коньковый прогон и мауэрлат наклонной стропильной системы**

Если  $\alpha > 10^\circ$ , то для удобства выполнения расчетов по определению внутренних усилий в сечениях стропильной ноги с использованием правил строительной механики расчетное значение постоянной нагрузки  $g_{1,d}$  от элементов кровли, стропильной ноги, вычисленные согласно 5.2.2 на  $1 \text{ м}^2$  поверхности ската приводят к нагрузке на  $1 \text{ м}^2$  плана покрытия  $g_d$ , используя формулу (5.24). Что же касается значения снеговой нагрузки  $q_{s,d}$ , то оно определено на  $1 \text{ м}^2$  плана покрытия по формуле (5.4). Расчетное значение нагрузки от давления ветра  $q_{1w,d}$ , которое действует перпендикулярно продольной оси стропильной ноги [10], определено в соответствии 5.2.3 на  $1 \text{ м}^2$  поверхности ската, приводит к нагрузке  $g_{w,d}$  на  $1 \text{ м}^2$  плана покрытия, используя формулу (5.25). Следует отметить, что значение  $g_{w,d}$  используют только при определении изгибающего момента в сечениях стропильной ноги. При определении значений внутренних усилий в сечениях стропильной ноги с использованием программных комплексов придерживаться вышеприведенных рекомендаций необязательно.

$$g_d = g_{1,d} / \cos \alpha, \quad (5.24)$$

$$q_{w,d} = g_{1w,d} / \cos^2 \alpha, \quad (5.25)$$

где  $\alpha$  – угол уклона кровли.

Для определения погонной нагрузки, действующей по длине стропильной ноги, значения нагрузок, определенные по формулам (5.24), (5.25) (5.2), умножают на шаг  $s$  стропильных ног.

**5.4.4** При определении значений внутренних усилий в сечениях рядовой стропильной ноги наклонной стропильной системы учитывают следующие воздействия:

– постоянная нагрузка, включающая вес обрешетки, вес кровли, собственный вес стропильной ноги;

– переменная (среднесрочная), включающая снеговую нагрузку при угле ската не более  $60^\circ$ ;

– переменная (кратковременная), включающая ветровую нагрузку при больших углах наклона ската крыши.

В зданиях высотой до 5 метров, расположенных в защищенной от ветра местности, допускается не учитывать ветровую нагрузку.

**5.4.5** В соответствии с требованиями [5] статический расчет стропильных ног безраспорной (рисунок 5.2) и распорной (рисунок 5.3) стропильной системы с уклоном крыши  $\alpha > 10^\circ$  для здания высотой более 5 м выполняют для следующих комбинаций нагрузок с их расчетными значениями:

– **комбинация нагружения I** – постоянная + переменная снеговая нагрузки, действующие по всему пролету стропильной ноги (рисунок 5.2а);

– **комбинация нагружения II** – постоянная + переменная ветровая нагрузки, действующие по всему пролету стропильной ноги (рисунок 5.2б);

– **комбинация нагружения III** – постоянная + переменная снеговая + ветровая нагрузки, действующие по всему пролету стропильной ноги (рисунок 5.2в).

При определении усилий в сечениях стропильной ноги безраспорной или распорной стропильных систем (рисунок 5.2, рисунок 5.3) стропильную ногу рассматривают как наклонную балку, опирающуюся на мауэрлат и коньковый прогон, с соответствующими закреплениями и комбинациями нагружения. Расчет усилий в сечениях стропильной ноги выполняют с использованием правил строительной механики или вычислительных программных комплексов.

При определении внутренних усилий в сечениях стропильной ноги и опорных реакций безраспорной стропильной системы (рисунок 5.2) могут быть использованы следующие формулы:

– для комбинации нагружения I (рисунок 5.2а)

$$M_{y,EdI} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d^2}{8}, \quad (5.26)$$

$$N_{c,EdI} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{s,d}) \cdot \left(\ell_{x_1} - \frac{\ell_d}{2}\right) \cdot \sin \alpha, \quad (5.27)$$

$$Q_{AI} = -Q_{BI} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2} \cdot \cos \alpha, \quad (5.28)$$

– значения вертикальных реакций в опорных узлах

$$R_{A,EdI} = R_{B,EdI} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2}; \quad (5.29)$$

– для комбинации нагружения II (рисунок 5.2б)

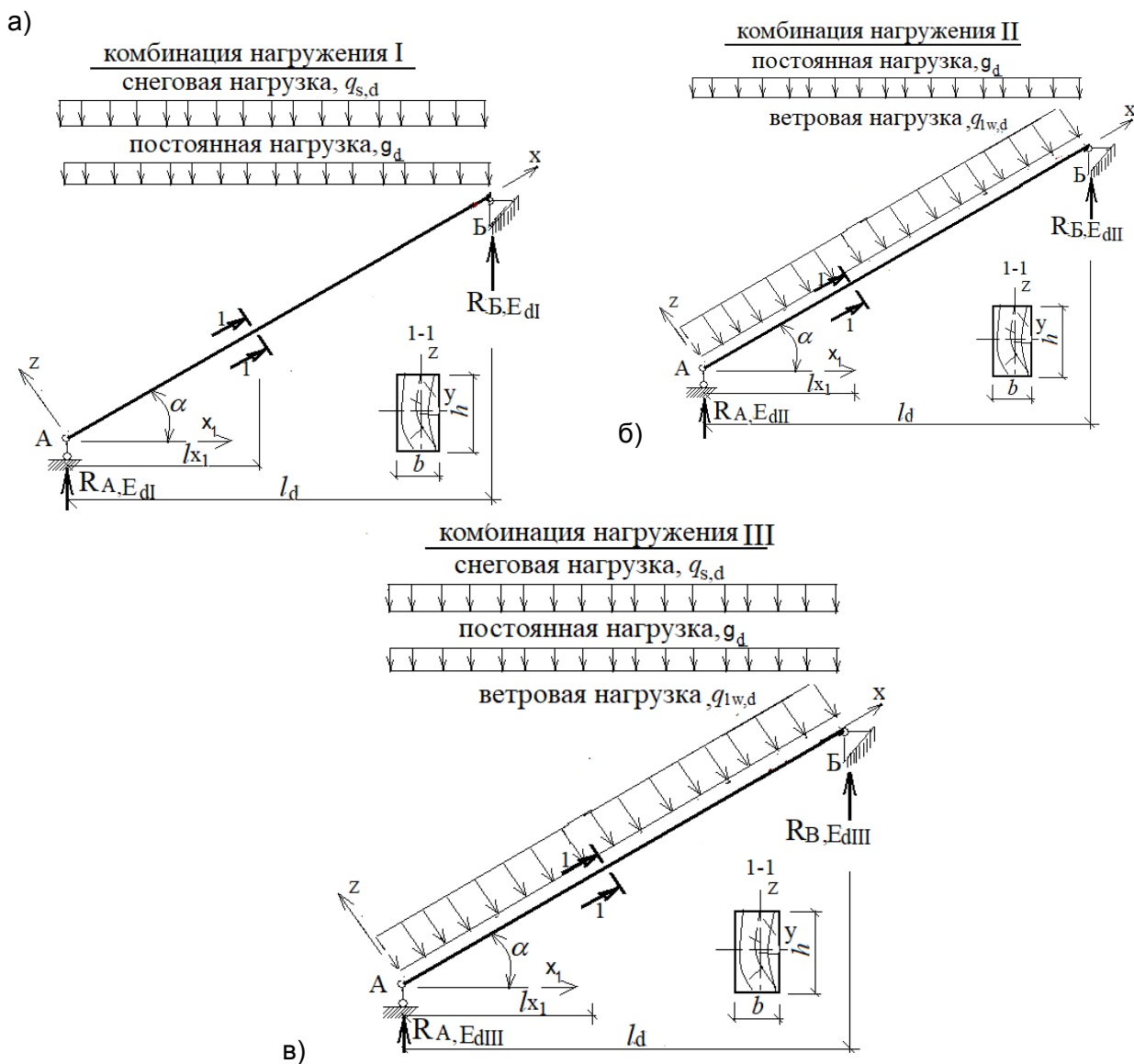
$$M_{y,EdII} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{w,d}) \cdot \frac{\ell_d^2}{8}, \quad (5.30)$$

$$N_{c,dII} = k_{FI} \cdot g_d \cdot \left(\ell_{x_1} - \frac{\ell_d}{2}\right) \cdot \sin \alpha, \quad (5.31)$$

$$Q_{AII} = -Q_{BII} = k_{FI} \cdot \left(g_d \cdot \frac{\ell_d}{2} \cdot \cos \alpha + q_{1w,d} \cdot \frac{\ell_x}{2}\right), \quad (5.32)$$

– значения вертикальных реакций в опорных узлах

$$R_{A,EdII} = R_{B,EdII} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{w,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2}; \quad (5.33)$$



а) – для комбинации нагружения I (равномерно распределенная постоянная  $g_d$  нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая  $q_{s,d}$  нагрузка);  
 б) – для комбинации нагружения II (равномерно распределенная постоянная  $g_d$  + переменная ветровая  $q_{1w,d}$  нагрузка; в) – для комбинации нагружения III (равномерно распределенная постоянная  $g_d$  нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая  $q_{s,d}$  нагрузка + нагрузка  $q_{1w,d}$  от давления ветра)

**Рисунок 5.2 – Расчетные схемы стропильной ноги безраспорной наслонной стропильной системы**

– для комбинации нагружения III (рисунок 5.2в)

$$M_{y,EdIII} = \max \begin{cases} k_{FI} \cdot (0,85 \cdot g_d + q_{s,d} + 0,6 \cdot q_{w,d}) \cdot \frac{\ell_d^2}{8} \\ k_{FI} \cdot (0,85 \cdot g_d + 0,6 \cdot q_{s,d} + q_{w,d}) \cdot \frac{\ell_d^2}{8} \end{cases} \quad (5.34)$$

$$N_{c,EdIII} = k_{FI} \cdot (g_d + q_{s,d}) \cdot \left( \ell_{x_1} - \frac{\ell_d}{2} \right) \cdot \sin \alpha, \quad (5.35)$$

$$Q_{A,EdIII} = -Q_{B,EdIII} = \max \begin{cases} k_{F1} \cdot ((0,85 \cdot g_d + q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2} \cdot \cos \alpha + 0,6 \cdot q_{1w,d} \cdot \frac{\ell_x}{2}), \\ k_{F1} \cdot ((0,85 \cdot g_d + 0,6 \cdot q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2} \cdot \cos \alpha + q_{1w,d} \cdot \frac{\ell_x}{2}), \end{cases} \quad (5.36)$$

$$R_{A,EdIII} = R_{B,EdIII} = \max \begin{cases} k_{F1} \cdot (0,85 \cdot g_d + q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2} + 0,6 \cdot \frac{q_{1w,d}}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \ell_x), \\ k_{F1} \cdot (0,85 \cdot g_d + 0,6 \cdot q_{s,d}) \cdot \frac{\ell_d}{2} + \frac{q_{1w,d}}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \ell_x), \end{cases} \quad (5.37)$$

здесь  $M_{y,EdI}$ ,  $M_{y,EdII}$ ,  $M_{y,EdIII}$  и  $N_{c,EdI}$ ,  $N_{c,EdII}$  и  $N_{c,EdIII}$  – расчетные значения изгибающих моментов и нормальных усилий в сечениях стропильной ноги при комбинациях нагружения I, II и III;

$Q_{A,EdI}$ ,  $Q_{A,EdII}$ ,  $Q_{A,EdIII}$ ,  $Q_{B,EdI}$ ,  $Q_{B,EdII}$  и  $Q_{B,EdIII}$  – расчетные значения поперечных усилий в опорных сечениях А и Б стропильной ноги при комбинациях нагружения I, II и III;

$R_{A,EdI}$ ,  $R_{A,EdII}$ ,  $R_{A,EdIII}$ ,  $R_{B,EdI}$ ,  $R_{B,EdII}$  и  $R_{B,EdIII}$  – вертикальные реакции в опорных узлах А и Б стропильной ноги при комбинациях нагружения I, II и III;

$k_{F1}$  – коэффициент, значение которого принимают из таблицы [1] с учетом класса последствий;

$g_d$ ,  $q_{s,d}$  и  $q_{w,d}$  – расчетные значения постоянной, переменной снеговой и ветровой погонных нагрузок на поверхности плана покрытия;

$\ell_d$  – длина горизонтальной проекции стропильной ноги;

$\ell_x$  – длина стропильной ноги;

$\ell_{x_1}$  – расстояние от узла «А» по оси  $x_1$  до рассматриваемого сечения на горизонтальной проекции стропильной ноги;

$\alpha$  – угол наклона продольной оси стропильной ноги к горизонту.

**Примечание** – Формулы по определению внутренних усилий в сечениях стропильной ноги и опорных реакций, учитывающие действие ветровой нагрузки справедливы, если ее распределение по всей длине стропильной ноги имеет постоянную интенсивность и направление действия.

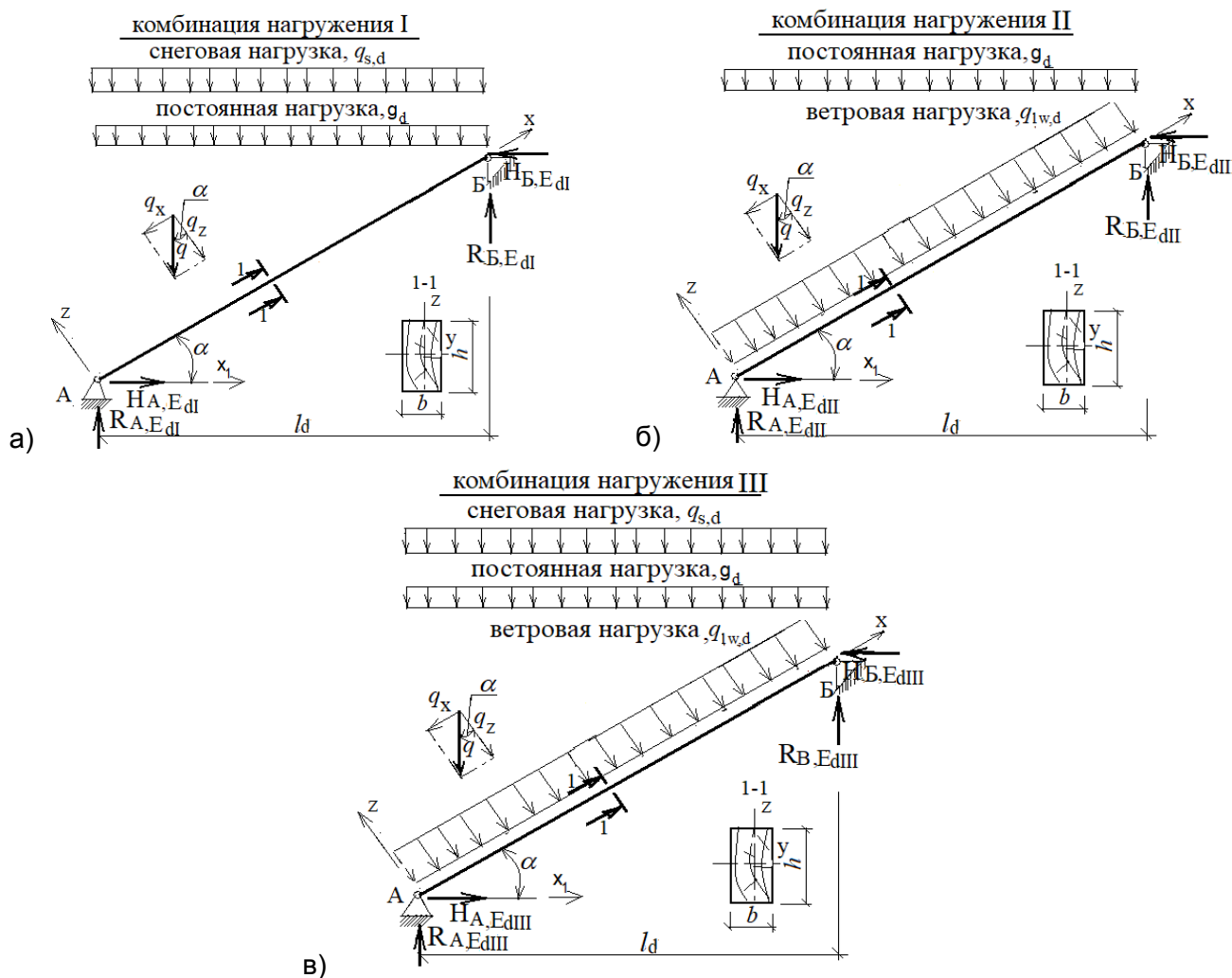
Определение внутренних усилий в сечениях стропильной ноги распорной стропильной системы (рисунок 5.3) выполняют с использованием вычислительных программных комплексов для следующих комбинаций нагружения:

– комбинация нагружения I – равномерно распределенная постоянная  $g_d$  нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая  $q_{s,d}$  нагрузка (рисунок 5.3а);

– комбинации нагружения II – равномерно распределенная постоянная + переменная ветровая  $q_{1w,d}$  нагрузка (рисунок 5.3б);

– для комбинации нагружения III – равномерно распределенная постоянная  $g_d$  нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая  $q_{s,d}$  нагрузка + нагрузка  $q_{1w,d}$  от давления ветра (рисунок 5.3в).





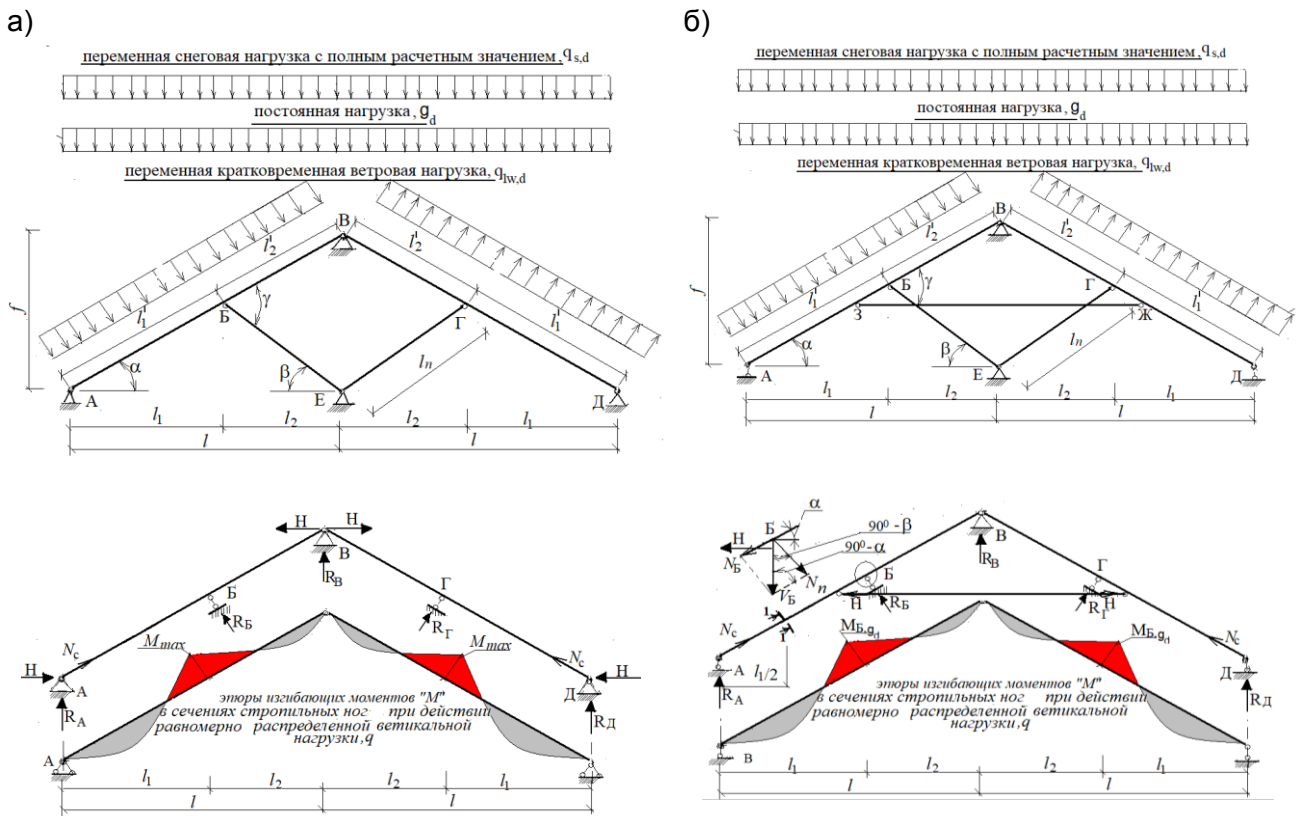
- а) – для комбинации нагружения I (равномерно распределенная постоянная  $g_d$  нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая  $q_{s,d}$  нагрузка);  
 б) – для комбинации нагружения II (равномерно распределенная постоянная  $g_d$  + переменная ветровая  $q_{1w,d}$  нагрузка; в) – для комбинации нагружения III (равномерно распределенная постоянная  $g_d$  нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая  $q_{s,d}$  нагрузка + нагрузка  $q_{1w,d}$  от давления ветра)

**Рисунок 5.3 – Расчетные схемы стропильной ноги распорной наслонной стропильной системы**

**5.4.6** При угле наклона крыши  $10^\circ < \alpha < 60^\circ$  и высоте здания более 5 м, статический расчет стропильной ноги без стыков по ее длине, имеющей промежуточную опору в виде подкоса или прогона (рисунок 3.8а) в распорной наслонной стропильной системе или в виде подкосов с ригелем (рисунок 3.8б) в безраспорной стропильной системе, выполняют как для наклонной двухпролетной неразрезной балки (рисунок 5.4) при следующих комбинациях нагружения:

- **комбинация нагружения I** – постоянная нагрузка + переменная снеговая нагрузка, действующие по всему пролету стропильной ноги (рисунок 5.4);
- **комбинация нагружения II** – постоянная нагрузка + переменная ветровая нагрузки, действующие по всему пролету стропильной ноги;
- **комбинация нагружения III** – постоянная нагрузка + переменная снеговая нагрузка + ветровая нагрузка, действующие по всему пролету стропильной ноги.

При угле наклона крыши  $\alpha \geq 60^\circ$  действие снеговой нагрузки не учитывается.



а) – распорная схема; б) – безраспорная схема  
**Рисунок 5.4 – Схемы наслонных стропильных ног с подкосами**

Внутренние усилия в сечениях стропильной ноги могут определять как по правилам строительной механики, так и с использованием программных вычислительных комплексов.

Наиболее нагруженным (рисунок 5.4) является поперечное сечение стропильной ноги, расположенное на средней (промежуточной) опоре, где имеют место ослабления поперечного сечения стропильной ноги (врубка, отверстия под нагели и т. п.) при соединении ее с подкосом или прогоном. Вторым поперечным сечением стропильной ноги, подлежащим проверке является сечение расположенное в середине ее нижнего участка.

Для упрощенного определения внутренних усилий в сечениях элементов безраспорной стропильной системы (рисунок 5.4 б) от действия постоянной  $g_d$  или переменной снеговой  $q_{s,d}$  нагрузок могут быть использованы формулы [11]:

– при расчете значений вертикальных реакций (усилий), возникающих от давления стропильной ноги в опорных узлах мауэрлата и прогона в коньке

$$R_{A,g_d} = R_{D,g_d} = k_{FI} \cdot \left( \frac{g_d \cdot l_1}{2} - \frac{M_{B,g_d}}{l_1} \right), \quad (5.38)$$

$$R_{B,g_d} = k_{FI} \cdot \left( g_d \cdot l_2 - \frac{2 \cdot M_{B,g_d}}{l_2} \right); \quad (5.39)$$

– при расчете значений продольных усилий  $N_n$  в сечениях подкосов и стропильной ноги  $N_c$  (см. рисунок 5.4 б)

$$N_{n,g_d} = -R_B = -R_r = k_{FI} \cdot R_{B,g_d} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma}, \quad (5.40)$$

$$N_{B,g_d} = k_{Fl} \cdot R_{B,g_d} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \gamma}, \quad (5.41)$$

$$\text{где } V_{B,g_d} = \frac{g_d \cdot \ell}{2} + \frac{M_{B,g_d} \cdot \ell}{\ell_1 \cdot \ell_2}; \quad (5.42)$$

– при расчете изгибающего момента в сечении стропильной ноги на опоре Б и в сечении 1-1, расположенном в середине нижнего участка (рис. 5.4 б)

$$M_{B,g_d} = k_{Fl} \cdot \frac{g_d \cdot (\ell_1^3 + \ell_2^3)}{8 \cdot (\ell_1 + \ell_2)}, \quad (5.43)$$

$$M_{1-1,g_d} = k_{Fl} \cdot \frac{g_d \cdot \ell_1^2}{8}; \quad (5.44)$$

– при расчете распора в ригеле (узел Б)

$$H_{g_d} = N_{B,g_d} \cdot \cos \alpha, \quad (5.45)$$

здесь  $R_{A,g_d}, R_{B,g_d}, R_{B,g_d}, R_{Г,g_d}$  и  $R_{Д,g_d}$  – опорные вертикальные реакции, возникающие в узлах А, Б, В, Г и Д стропильной системы при действии постоянной нагрузки  $g_d$  по всему пролету;

$M_{B,g_d}$  и  $M_{1-1,g_d}$  – изгибающие моменты, возникающие в сечениях стропильной ноги узла Б и 1-1 (рисунок 5.4 б);

$N_{B,g_d}$  – продольное усилие в сечении стропильной ноги узла Б при действии постоянной нагрузки  $g_d$  по всему пролету;

$N_{n,g_d}$  – продольное усилие в сечении подкоса узла Б при действии постоянной нагрузки  $g_d$  по всему пролету;

$\ell_1$  и  $\ell_2$  – длина первого и второго от мауэрлата пролетов стропильной ноги в плане (рисунок 5.4);

$\ell$  – пролет стропильной ноги в плане;

$\beta$  – угол наклона подкоса к горизонтальной линии;

$\gamma$  – угол между осью стропильной ноги и осью подкоса.

Расчетные значения усилий в сечениях элементов стропильной ноги, подкосов, ригеля, а также усилий в опорных и коньковых узлах для каждой комбинации нагружения (сочетания), определяют в соответствии с рекомендациями 5.2.5.

Примечание – Формулы (5.38) – (5.45) по определению внутренних усилий справедливы, если распределение нагрузки по всему пролету безраспорной стропильной системы имеет постоянную интенсивность и направление.

**5.4.7** В наклонной стропильной системе начальный прогиб  $u_{z,inst}$  (рисунок 5.2, рисунок 5.3) стропильной ноги, опирающейся на мауэрлат и коньковый прогон (без промежуточной опоры), определяют по формулам:

– от действия постоянной  $g_k$  и переменной снеговой  $q_{s,k}$  нагрузок

$$u_{z,inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot \ell_d^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha}, \quad (5.46)$$

$$u_{z,inst,q_s} = \frac{5 \cdot q_{s,k} \cdot \ell_d^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha}; \quad (5.47)$$

– от действия кратковременной ветровой  $q_{w1,k}$  нагрузки

$$u_{z,inst,q_w} = \frac{5 \cdot q_{w1,k} \cdot \ell_x^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d}, \quad (5.48)$$

здесь  $u_{z,inst,g}$  – значение начального прогиба стропильной ноги по направлению перпендикулярном ее продольной оси от действия постоянной нагрузки;

$u_{z,inst,q_s}$  – значение начального прогиба стропильной ноги по направлению перпендикулярном ее продольной оси от действия переменной снеговой нагрузки;

$u_{z,inst,q_w}$  – значение начального прогиба стропильной ноги по направлению перпендикулярном ее продольной оси от действия кратковременной ветровой нагрузки;

$g_k$  и  $q_{s,k}$  – характеристические значения постоянной и снеговой нагрузок, приходящихся на единицу длины горизонтальной проекции стропильной ноги;

$q_{w1,k}$  – характеристическое значение ветровой нагрузки, приходящейся на единицу длины стропильной ноги и действующей перпендикулярно ее продольной оси;

$\ell_d$  – длина стропильной ноги в плане;

$\ell_x$  – длина стропильной ноги;

$E_{mean}$  – среднее значение модуля упругости вдоль волокон древесины, принимаемое из таблиц приложения Б;

$I_d$  – расчетное значение момента инерции поперечного сечения стропильной ноги относительно оси  $y$ ;

$\alpha$  – угол наклона стропильной ноги к горизонту.

Окончательное значение прогиба  $u_{z,fin}$  стропильной ноги определяют как сумму начальных прогибов, определенных по формулам (5.46) – (5.48) и прогиба  $u_{z,creep}$  от ползучести древесины. При определении  $u_{z,creep}$  следует руководствоваться правилами п. 5.4.7 [5] или рекомендациями п. 3.1.13 – 3.1.15 [6].

**5.4.8** В наслонной безраспорной стропильной системе (рисунок 5.4) начальный прогиб  $u_{z,inst}$  стропильной ноги, опирающейся на мауэрлат, подкос и коньковый прогон, определяют как для двухпролетной балки.

Значение начального прогиба  $u_{z,inst}$  определяют в пролете стропильной ноги,  $l_1$ , расположенном ближе к мауэрлату, используя формулы:

– от действия постоянной  $g_k$  и переменной снеговой  $q_{s,k}$  нагрузок

$$u_{inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot \ell_1^4 - 24 \cdot M_{B,g_k} \cdot \ell_1^2}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha}, \quad (5.49)$$

$$u_{inst,q_s} = \frac{5 \cdot q_{s,k} \cdot \ell_1^4 - 24 \cdot M_{B,q_{s,k}} \cdot \ell_1^2}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha}, \quad (5.50)$$

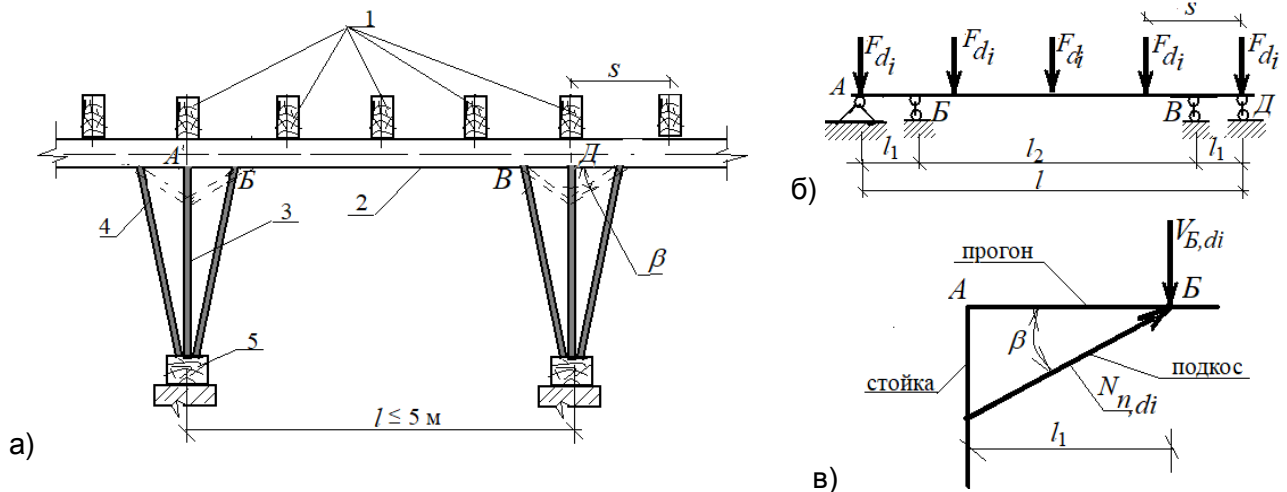
– от действия кратковременной ветровой  $q_{w,k}$  нагрузки

$$u_{inst,q_w} = \frac{5 \cdot q_{w,k} \cdot \ell_1^4 - 24 \cdot M_{B,q_{w,k}} \cdot \ell_1^2}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha}, \quad (5.51)$$

здесь  $l_1$  и  $l_2$  – длина первого и второго от мауэрлата пролетов стропильной ноги в плане (рисунок 5.4).

Окончательное значение прогиба  $u_{fin}$  стропильной ноги определяют в соответствии с 5.4.7.

**5.4.9** Статический расчет элементов подстропильной системы включает в себя определение усилий в прогонах, подкосах и шпренгелях под диагональной ногой (в вальмовых крышах) и выполняется по общим правилам строительной механики (рисунок 5.5).



1 – стропильные ноги; 2 – прогон; 3 – стойки подстропильной конструкции; 4 – подкосы; 5 – деревянная подкладка (бобышка)

а) – схема продольного разреза наклонных стропил (подстропильная конструкция); б) – расчетная схема прогона; в) – расчетная схема подкоса

**Рисунок 5.5 – Продольный разрез и расчетные схемы элементов подстропильной конструкции наклонной стропильной системы**

При определении усилия в прогоне, усиленного подкосами, его рассматривают как неразрезную трехпролетную балку (рисунок 5.5 б), нагруженную сосредоточенными силами  $F_{di}$  от давления стропил. Значения усилий  $F_{di}$ , определяют при выполнении статического расчета стропильной ноги согласно 5.4.4–5.4.6 для соответствующих комбинаций ее нагружения. При действии на прогон четырех и более сосредоточенных усилий  $F_{di}$ , равных по величине и расположенных на одинаковых расстояниях «s» (рисунок 5.5а, б), прогон рассчитывают на эквивалентную равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $q_{di} = F_{di}/s$ .

При равномерно распределенной нагрузке изгибающий момент на промежуточной опоре Б трехпролетной неразрезной балки с равными крайними пролетами  $l_1$  и средним  $l_2$  вычисляют по формуле

$$M_{B,Edi} = \frac{q_{di}(l_1^3 + l_2^3)}{8 \cdot (l_1 + 1,5 \cdot l_2)}. \quad (5.52)$$

Опорное давление на промежуточной опоре Б определяют по формуле

$$V_{B,Edi} = \frac{q_{di} \cdot (l_1 + l_2)}{2} + \frac{M_{B,Edi}}{l_1}, \quad (5.53)$$

где  $V_{B,Edi}$  – опорное давление (опорная реакция) на промежуточной опоре Б прогона (рисунок 5.5 б) для  $i$ -й комбинации нагружения стропильной системы;

$M_{B,Edi}$  – изгибающий момент в сечении промежуточной опоры Б для  $i$ -й комбинации нагружения стропильной системы;

$q_{di}$  – интенсивность эквивалентной равномерно распределенной нагрузки, действующей по длине прогона при  $i$ -й комбинации нагружения стропильных ног.

Значение сжимающего усилия в подкосе для  $i$ -й комбинации нагружения стропильной системы определяют по формуле

$$N_{n,Edi} = \frac{V_{B,Edi}}{\sin \beta}, \quad (5.54)$$

где  $\beta$  – угол наклона оси подкоса к горизонту.

**5.4.10** Определение внутренних усилий в элементах висячих стропильных систем выполняют по правилам строительной механики или с использованием программных вычислительных комплексов.

Основу всех висячих стропильных систем составляет треугольная из прямолинейных элементов (стропильных ног) распорная конструкция (арка) с деревянной затяжкой, где при проведении статического расчета необходимо руководствуются правилами, установленными в 5.3.11 [5].

Проверки предельных состояний несущей способности элементов висячей стропильной системы выполняют для постоянных и переходных расчетных ситуаций при следующих комбинациях нагружения:

– комбинация нагружения I – равномерно распределенная постоянная  $g_d$  и переменная (снеговая)  $q_{s,d}$  нагрузки на всем пролете (рисунок 5.6а);

– комбинация нагружения II – постоянная  $g_d$  нагрузка на всем пролете, переменная (снеговая) нагрузка с полным значением  $q_{s,d}$  на одной половине пролета и с пониженным значением  $q_{s,d}$  на второй половине пролета (рисунок 5.6 б);

– комбинация нагружения III – постоянная  $g_d$  нагрузка на всем пролете и расчетная ветровая нагрузка  $q_{1w,d}$  (рисунок 5.6 в);

– комбинация нагружения IV – равномерно распределенная постоянная  $g_{s,d}$ , переменная (снеговая)  $q_d$  нагрузки и ветровая нагрузка (рисунок 5.6 г.);

– комбинация нагружения V – постоянная  $g_d$  нагрузка на всем пролете, переменная (снеговая) нагрузка с полным значением  $q_{s,d}$  на одной половине пролета и с пониженным значением  $q_{s,d}$  на второй половине пролета, а также ветровая нагрузка (рисунок 5.6 д);

– комбинация нагружения VI – повтор комбинации нагружения V с измененным направлением ветрового давления (рисунок 5.6 е).

**5.4.11** При выполнении статического расчета по определению внутренних усилий в элементах висячей стропильной системы с уклоном стропильных ног  $\alpha \geq 60^\circ$ , действие снеговой нагрузки не учитывается. Если высота здания менее 5 м, а уклон крыши  $\alpha \leq 45^\circ$ , действие ветровой нагрузки допускается не учитывать. В случаях, когда  $\alpha \leq 15^\circ$ , независимо от высоты здания, действие ветровой нагрузки не учитывается. При углах  $\alpha > 45^\circ$ , независимо от высоты здания, действие ветровой нагрузки необходимо учитывать.

**5.4.12** При определении внутренних усилий в элементах висячей стропильной системы рекомендуется использовать расчетные программные комплексы или рекомендации, изложенные в п. 2.3.16 и 2.3.17 [13].

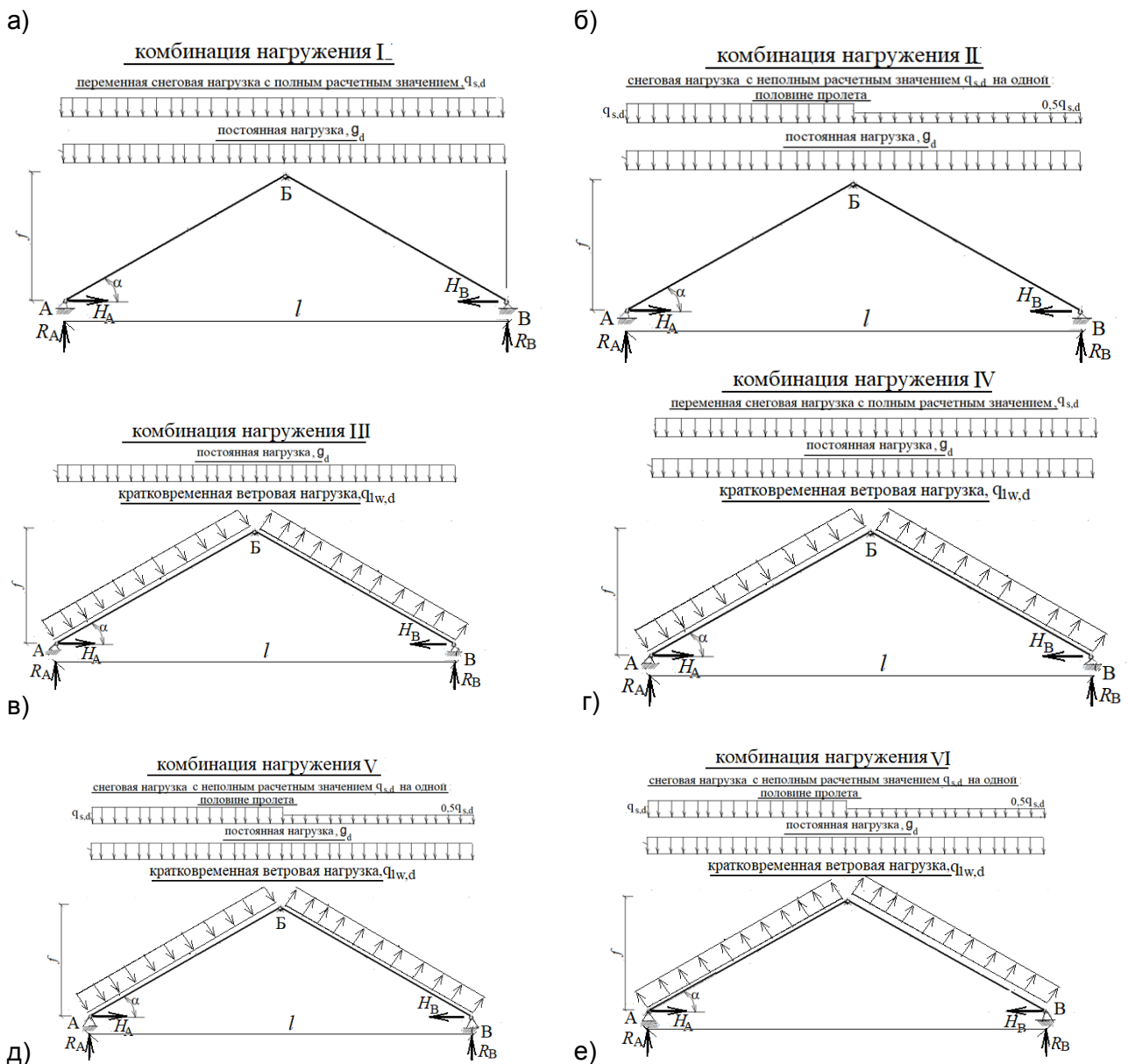


Рисунок 5.6 – Схемы нагружения висячих стропильных систем

## 5.5 Проверка предельных состояний несущей способности элементов стропильной системы

### 5.5.1 Расчет предельных состояний стропильных систем включает в себя:

#### а) для наслонной стропильной системы

- проверку прочности древесины в поперечном сечении стропильной ноги выполняют как для изгибаемого элемента при углах наклона ее оси к горизонту  $\alpha \leq 10^\circ$ , а при  $\alpha > 10^\circ$ , в зависимости от типа стропильной системы (распорной или безраспорной и количества опор) как изгибаемого или сжато-изгибаемого элемента;
- проверку прочности древесины в поперечном сечении прогона подстропильной конструкции, которую выполняют как для изгибаемого элемента;
- проверку прочности древесины в поперечном сечении стойки и подкоса выполняют как для сжатого элемента;
- проверку прочности древесины в поперечном сечении ригеля выполняют как элемента, воспринимающего осевое усилие;
- проверку несущей способности узловых соединений элементов стропильной системы;



б) для висячей стропильной системы

– проверку прочности древесины в поперечном сечении стропильной ноги выполняют как для сжато-изгибаемого элемента;

– проверку прочности древесины в поперечном сечении затяжки выполняют как для элемента, воспринимающего действие осевого усилия растяжения, а при наличии вертикальной нагрузки – как растянуто-изгибаемого элемента;

– проверку несущей способности узловых соединений элементов висячей стропильной системы.

**5.5.2** Проверки предельных состояний несущей способности выполняют для самого невыгодного расчетного сочетания внутренних усилий (эффектов воздействий), определенных в сечениях элементов стропильной системы и их узлах на основании статического расчета для соответствующих комбинаций нагружения.

Определение расчетного сочетания эффекта воздействия (внутреннего усилия) из целого ряда значений, полученных для соответствующих комбинаций нагружения, на которое выполняется расчет (проверка) элемента, определяют как максимальное значение из отношений расчетных значений внутренних усилий (эффектов воздействий)  $E_{di}$  и значений коэффициентов модификации  $k_{mod,i}$  для каждой комбинации нагружения.

**5.5.3** При проверке стропильной ноги (рисунок 5.7), когда  $\alpha \leq 10^\circ$  ее рассматривают как горизонтальную балку на двух опорах пролетом  $l_d$ , испытывающую изгиб в одной плоскости, для которой приведенная гибкость  $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ , т. е. балка раскреплена из плоскости. Для обеспечения прочности древесины в поперечных сечениях такой балки, согласно 7.3.1 [5], должны соблюдаться условия

$$M_{y,Edi} \leq M_{y,Rdi}, \quad (5.55)$$

$$V_{Edi,max} \leq V_{Rdi}, \quad (5.56)$$

где  $M_{y,Edi}$  – расчетные значения изгибающего момента для  $i$ -й комбинации нагружения в поперечном сечении стропильной ноги при ее изгибе относительно оси  $y$ , определенные в результате статического расчета;

$M_{y,Rd}$  – расчетное значение сопротивления в нормальном сечении стропильной ноги, подверженной изгибу относительно оси  $y$ , определенное по формуле (5.57);

$V_{Edi,max}$  – максимальное расчетное значение сдвигающего усилия в опорном поперечном сечении стропильной ноги для  $i$ -й комбинации нагружения, определенное в результате статического расчета;

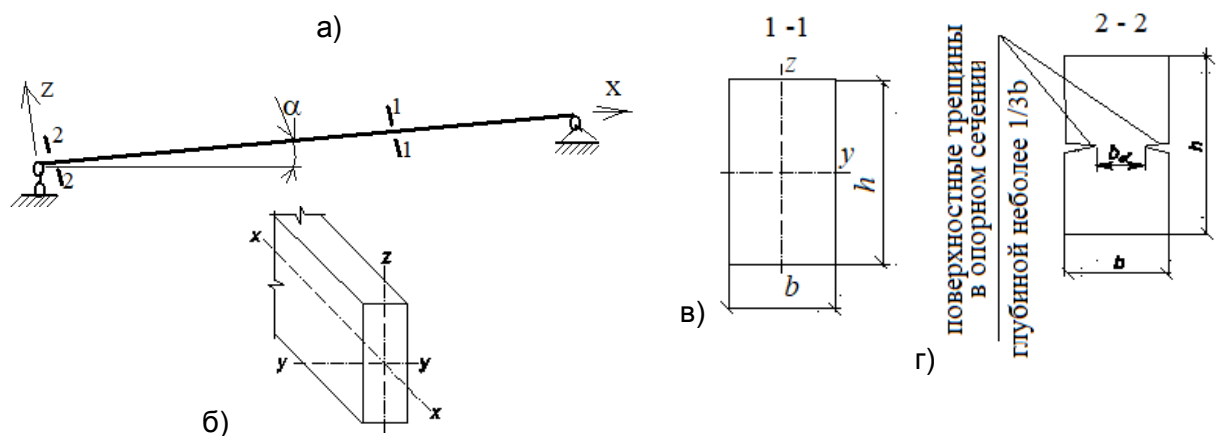
$V_{Rdi}$  – расчетное значение сопротивления сдвигу в опорном поперечном сечении стропильной ноги для  $i$ -й комбинации нагружения, определяемое по формуле (5.59).

Расчетные значения сопротивления стропильной ноги изгибу относительно оси  $y$  определяют по формуле

$$M_{y,Rdi} = f_{m,y,di} \cdot W_{y,d}, \quad (5.57)$$

где  $f_{m,y,di}$  – расчетное значение прочности древесины при изгибе относительно оси  $y$  для  $i$ -й комбинации нагружения, определяемое по формуле (5.58);

$W_{y,d}$  – расчетное значения момента сопротивления поперечного сечения стропильной ноги относительно оси  $y$ . Для стропильных ног сплошного поперечного сечения, имеющих ослабления  $W_{y,d} = W_{net}$ . При определении  $W_{net}$  ослабления сечений, расположенные на участке элемента длиной не более 200 мм, принимают совмещенными в одном сечении.



а) – статическая схема; б) – ориентация системы координат в сечении;  
 в) – поперечное сечение; г) – приопорное поперечное сечение  
**Рисунок 5.7 – Схема и поперечные сечения стропильной ноги**

Расчетное значение прочности древесины при изгибе стропильной ноги относительно оси  $y$  определяют по формуле

$$f_{m,y,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (5.58)$$

где  $k_{mod,i}$  – коэффициент модификации для  $i$ -й комбинации нагружения, значение которого принимают из таблицы А.3 приложения А;

$k_{sys}$  – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий в системе, значение которого определяют в соответствии с 5.6.3 [5];

$k_h$  – коэффициент, определяемый по формуле (5.36) [5];

$f_{m,k}$  – характеристическое значение прочности древесины стропильной ноги при ее изгибе, принимают из таблиц Б приложения Б;

$\gamma_M$  – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице А.2 приложения А.

Расчетное значение сопротивления сдвигу  $V_{Rdi}$  в опорном сечении стропильной ноги определяют по формуле

$$V_{Rdi} = \frac{J_{br} \cdot b_{ef} \cdot f_{v,di}}{S_{br}}, \quad (5.59)$$

где  $f_{v,di}$  – расчетное значение прочности древесины стропильной ноги при сдвиге вдоль волокон для  $i$ -й комбинации нагружения, определяемое по формуле (5.61);

$J_{br}$  – момент инерции брутто поперечного сечения стропильной ноги относительно нейтральной оси  $y$  (рисунок 5.7б);

$b_{ef}$  – расчетное значение ширины поперечного сечения стропильной ноги, определяемое по формуле (5.60);

$S_b$  – статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения стропильной ноги относительно нейтральной оси  $y$ .

Расчетное значение ширины  $b_{ef}$  поперечного сечения стропильной ноги, определяют исходя из возможного появления в процессе эксплуатации поверхностных трещин на уровне нейтральной оси (рисунок 5.7г)) по формуле

$$b_{ef} = b_c \cdot k_{cr}, \quad (5.60)$$

где  $b_c$  – ширина поперечного сечения стропильной ноги (рисунок 5.7 в));

$k_{cr}$  – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления поперечного сечения сдвигу из-за возможного образования поверхностных трещин в опорных участках элемента, принимают равным: 0,67 – для балок, прогонов из пиломатериала (брусья) и клееной древесины; 1,0 – других материалов на основе древесины.

Расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон стропильной ноги  $f_{v,di}$  для  $i$ -й комбинации нагружения определяют по формуле

$$f_{v,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (5.61)$$

где  $f_{v,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон, принимают из таблиц приложения Б.

**5.5.4** При проверке прочности древесины в поперечных сечениях стропильных ног с наклоном к горизонту  $\alpha > 10^\circ$  (рисунок 5.7) наклонной и висячей стропильной системы, их рассчитывают как сжато-изгибаемые элементы, которые раскреплены обрешеткой от потери устойчивости плоской формы деформирования, т. е. приведенная гибкость  $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ .

Если значение приведенной гибкости при сжатии  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ , то согласно п. 7.5.1 [5] должно соблюдаться условие

$$\left( \frac{N_{c,Edi}}{N_{c,Rdi}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{M_{y,Edi}}{M_{y,Rdi}} \leq 1, \quad (5.62)$$

где  $N_{c,Edi}$  и  $M_{y,Edi}$ , – расчетные значения осевого усилия сжатия и изгибающего момента относительно оси  $y$ , действующие в сечениях стропильной ноги, определенные в результате статического расчета для  $i$ -ой расчетной комбинации нагружения;

$N_{c,Rdi}$  и  $M_{y,Rdi}$  – расчетные значения сопротивлений нормального поперечного сечения стропильной ноги сжатию вдоль оси  $x$  и изгибу относительно оси  $y$ , определяют по формулам (5.68) и (5.57);

$k_m$  – коэффициент, учитывающий распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента в зависимости от его формы. Для элементов прямоугольного поперечного сечения из цельной или клееной древесины, а также LVL  $k_m = 0,7$ . Для других форм поперечного сечения  $k_m = 1$ .

Приведенную гибкость стропильной ноги относительно оси  $y$  определяют по формуле (5.75).

*Примечание – Если в поперечном сечении сжато-изгибаемого элемента напряжения вызванные усилием сжатия составляют менее 5 % от напряжений, обусловленных изгибом, то такой элемент рассчитывают как изгибаемый.*

**5.5.5** При проверке прочности древесины в сечении стропильной ноги как сжато-изгибаемого элемента, когда значения  $\lambda_{rel,y} \geq 0,3$  и  $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$  (исключена потеря устойчивости плоской формы деформирования), согласно 7.5.2 [5] должно соблюдаться следующее условие:

$$\frac{N_{c,Edi}}{k_{c,y} N_{c,Rdi}} + \frac{M_{y,Edi}}{M_{y,Rdi}} \leq 1, \quad (5.63)$$

где  $N_{c,Edi}$  и  $M_{y,Edi}$  – расчетные значения осевого усилия сжатия и изгибающего момента относительно оси  $y$ , действующие в сечении стропильной ноги, определенные в результате статического расчета для  $i$ -ой комбинации нагружения;

$N_{c,Rdi}$  и  $M_{y,Rdi}$  – расчетные значения сопротивлений в нормальном ее сечении стропильной ноги сжатию вдоль оси  $x$  и изгибу относительно оси  $y$ , определяются по формулам (5.69) и (5.57);

$k_{c,y}$  – коэффициент продольного изгиба относительно оси  $y$ , значение которого определяют по формулам (5.71).

**5.5.6** При проверке прочности древесины в сечении прогона согласно 5.4.9 его рассчитывают как трехпролетную изгибаемую балку (рисунок 5.5 б). Расчетным является сечение, расположенное на одной из внутренних опор. При выполнении проверки в данном сечении должны соблюдаться условия (5.55) и (5.56), установленные в 5.5.3.

**5.5.7** При проверке прочности древесины в поперечном сечении затяжки ее рассчитывают как центрально растянутый элемент, где согласно 7.1.1 [5] должно соблюдаться условие

$$N_{t,Edi} \leq N_{t,Rdi}, \quad (5.64)$$

где  $N_{t,Edi}$  – расчетное значение растягивающего усилия, определенное в результате статического расчета стропильной системы для  $i$ -й комбинации нагружения;

$N_{t,Rdi}$  – расчетное значение сопротивления элемента растяжению вдоль волокон в наиболее нагруженном сечении для  $i$ -й комбинации нагружения, определяемое по формуле

$$N_{t,Rdi} = f_{t,0,di} \cdot A_{net}, \quad (5.65)$$

здесь  $f_{t,0,di}$  – расчетное значение прочности древесины затяжки при растяжении вдоль волокон, определяемая по формуле

$$f_{t,0,di} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M}, \quad (5.66)$$

$f_{t,0,k}$  – характеристическое значение прочности древесины затяжки при растяжении вдоль волокон, принимают из таблиц приложения Б;

$A_{net}$  – площадь нетто поперечного сечения элемента; при определении  $A_{net}$  ослабления, расположенные на участке длиной не более 200 мм, следует принимать совмещенными в одном сечении.

При определении  $A_{net}$  в элементах соединений следует руководствоваться правилами, установленными в 7.1.2 [5].

**5.5.8** Стойки и подкосы рассчитывают как центрально сжатые элементы, где согласно 7.2.1 [5] должно соблюдаться условие

$$N_{c,Edi} \leq N_{c,Rdi}, \quad (5.67)$$

где  $N_{c,Edi}$  – расчетное значение сжимающего усилия, действующего в стойке/подкосе, определенное в результате статического расчета стропильной системы для  $i$ -й комбинации нагружения;

$N_{c,Rdi}$  – расчетное значение сопротивления стойки/подкоса сжатию вдоль волокон в наиболее нагруженном сечении для  $i$ -й комбинации нагружения.

Усилия в подкосах стропильной ноги от действия одного вида нагрузки определяют согласно 5.4.6, а в подкосах прогона – согласно 5.4.9. Усилия в стойках подстропильной системы определяют согласно 5.4.9. Комбинации рассчитанных усилий выполняют в соответствии с 5.2.5 и 5.4.5.

Расчетное значение сопротивления стойки/подкоса сжатию вдоль волокон в наиболее нагруженном сечении  $N_{c,Rdi}$  рассчитывают по формулам:

– при  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$  (короткие массивные элементы)

$$N_{c,Rdi} = A_{net} \cdot f_{c,0,di}, \quad (5.68)$$

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

$$N_{c,Rdi} = A_d \cdot k_{c,min} \cdot f_{c,0,di}, \quad (5.69)$$

где  $A_{net}$  – площадь нетто поперечного сечения стойки/подкоса. При определении  $A_{net}$  отверстия и пазы в поперечном сечении стойки/подкоса не учитывают как ослабление поперечного сечения, если они заполнены соединительными элементами, жесткость которых не менее жесткости древесины или используемых материалов на основе древесины;

$f_{c,0,di}$  – расчетное значение прочности древесины стойки/подкоса при сжатии вдоль волокон, определяемое по формуле

$$f_{c,0,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M}, \quad (5.70)$$

здесь  $f_{c,0,k}$  – характеристическое значение прочности древесины стойки или подкоса при сжатии вдоль волокон, определяемое из таблиц приложения Б;

$A_d$  – расчетное значение площади поперечного сечения элемента, которое принимают:

$A_d = A_{br}$  – при отсутствии ослаблений или ослаблениях в опасных сечениях, не выходящих на кромки, если площадь ослаблений не превышает 25 % площади брутто;

$A_d = (4/3)A_{br}$  – при ослаблениях, не выходящих на кромки, если площадь ослаблений превышает 25 % площади брутто;

$A_d = A_{net}$  – при симметричных ослаблениях, выходящих на кромки;

$k_{c,min}$  – минимальное значение коэффициента продольного изгиба, принятое из значений, определенных относительно оси  $y$  и  $z$  значение по формулам (5.71) и (5.72).

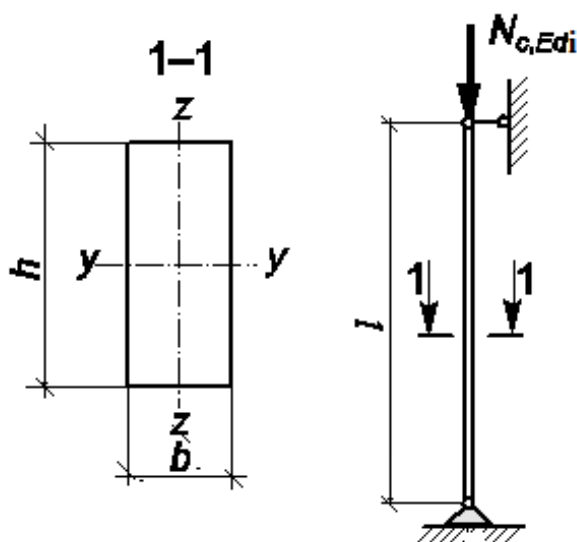


Рисунок 5.8 — Схема центрально-сжатой стойки/подкоса

Коэффициенты продольного изгиба  $k_{c,y}$  и  $k_{c,z}$  определяют по формулам:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \quad (5.71)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \quad (5.72)$$

где  $\lambda_{rel,y}$  и  $\lambda_{rel,z}$  – приведенная гибкость стойки/подкоса относительно оси  $y$  и  $z$  (рисунок 5.8), определяют по формулам (5.65) и (5.66).

$k_y$  и  $k_z$  – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$k_y = 0,5 \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right], \quad (5.73)$$

$$k_z = 0,5 \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right], \quad (5.74)$$

здесь  $\beta_c$  – коэффициент приведенной длины принимают равным:

0,2 – для пиломатериалов;

0,1 – для клееной древесины и LVL.

Приведенную гибкость стойки/подкоса относительно осей  $y$  и  $z$  следует определять по формулам:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (5.75)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (5.76)$$

где  $\lambda_y$  и  $\lambda_z$  – гибкость стойки/подкоса относительно оси  $y$  и  $z$ , определяют по формулам (5.77) и (5.78), как для элементов прямоугольных сплошных сечений (рисунок 5.8);

$E_{0,05}$  – 5 %-ый квантиль модуля упругости древесины стойки или подкоса, числовое значение которых принимают из таблиц Приложения Б.

$$\lambda_y = \frac{l_d}{h / \sqrt{12}}, \quad (5.77)$$

$$\lambda_z = \frac{l_d}{b / \sqrt{12}}, \quad (5.78)$$

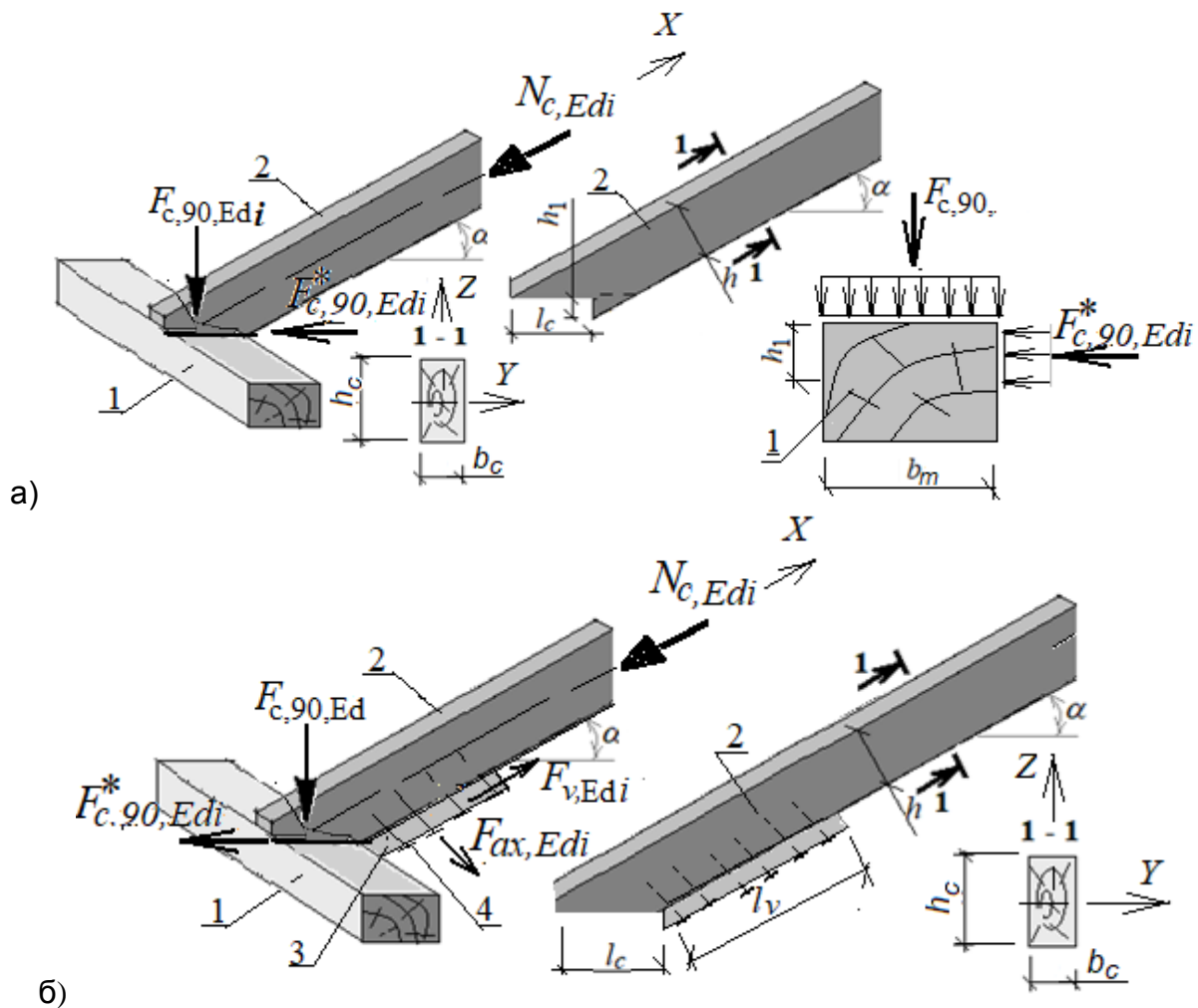
где  $h$  и  $b$  – высота и ширина поперечного сечения стойки/подкоса;

$l_d$  – расчетная длина стойки/подкоса, равная их длине.

## 5.6 Конструирование и расчет узловых соединений элементов стропильной системы

**5.6.1** В распорных наслонных стропильных системах нижний и верхний опорные узлы проектируют шарнирно неподвижными с использованием в соединениях стропильных ног с мауэрлатом врубок и механических связей различных типов (стальных уголков, гвоздей, винтов, металлических зубчатых пластин и т. п. (рисунок 3.5). Расчет таких узловых соединений зависит от их конструктивного решения.

В практике строительства опорные узлы стропильных ног чаще всего выполняют на врубках с зубом или с использованием упорных брусков (рисунок 5.9). Глубину врубки  $h_1$  (рисунок 5.9 а) рекомендуется принимать: не более 0,3  $h$  при высоте поперечного сечения стропильной ноги  $h \geq 180$  мм; не более 0,4  $h$  при высоте  $120 \text{ мм} < h < 180 \text{ мм}$  и не более 0,5  $h$  при высоте  $h \leq 120 \text{ мм}$ .



1 – мауэрлат; 2 – стропильная нога; 3 – упорный брусок; 4 – гвозди или винты  
 а) – расчетная схема и параметры шарнирно неподвижного узла соединения стропильной ноги с зубом; б) – расчетная схема и параметры шарнирно неподвижного узла стропильной ноги с упорным бруском

**Рисунок 5.9 – Расчетные схемы шарнирно неподвижных опорных узлов двускатных распорных наслонных стропильных систем**

**5.6.2** При проектировании шарнирно неподвижного узлового соединения стропильной ноги с мауэрлатом (рисунок 5.9) должны быть выполнены проверки предельных состояний несущей способности их конструктивных элементов, включающие:

– проверку сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон от давления стропильной ноги (рисунок 5.9). При выполнении данной проверки должно соблюдаться условие

$$F_{c,90,Edi} \leq F_{c,90,Rdi}, \quad (5.79)$$

где  $F_{c,90,Edi}$  – расчетное значение усилия для  $i$ -й комбинации нагружения, сжимающего древесину мауэрлата поперек волокон под опорной площадкой стропильной ноги, равное по величине расчетному значению опорной реакции  $R_{A,Edi}$ , возникающей в карнизном узле стропильной системы для  $i$ -й комбинации нагружения (рисунок 5.2, рисунок 5.3);

$F_{c,90,Rdi}$  – расчетное значение сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон стропильной ногой при  $i$ -й комбинации нагружения, определяемое по формуле

$$F_{c,90,Rdi} = f_{c,90,di} \cdot k_{c,90} \cdot A_d, \quad (5.80)$$



где  $f_{c,90,di}$  – расчетное значение прочности древесины мауэрлата при  $i$ -й комбинации нагружения, определяемое по формуле (5.81);

$k_{c,90}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сжатия в древесине мауэрлата по длине контактной площадки, где в соответствии с 7.7.5 [5] его значение для элементов из цельной древесины следует принимать равным 1,25, а для элементов из клееной древесины – 1,5;

$A_d$  – расчетное значение опорной площадки мауэрлата, определяемое по формуле (5.82).

$$f_{c,90,di} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod,i}}{\gamma_M}, \quad (5.81)$$

где  $f_{c,90,k}$  – характеристическое значение прочности древесины мауэрлата при сжатии поперек волокон; принимают из таблиц Б1, Б2 приложения Б;

$\gamma_M$  – частный коэффициент свойств материала или изделия, значение которого принимают из таблицы А2 приложения А;

$k_{mod}$  – коэффициент модификации, значения которого принимают из таблицы А3 приложения А.

$$A_d = b_m \cdot (b_c + 30 \text{ мм}), \quad (5.82)$$

где  $b_c$  – ширина поперечного сечения стропильной ноги;

$b_m$  – ширина поперечного сечения мауэрлата (рисунок 5.9 а);

– проверку сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон, расположенной в зоне контакта поверхности зуба стропильной ноги с мауэрлатом (рисунок 5.9а). При выполнении данной проверки должно соблюдаться условие

$$F_{c,90,Edi}^* \leq F_{c,90,Rdi}^*, \quad (5.83)$$

где  $F_{c,90,Edi}^*$  – расчетное значение усилия для  $i$ -й комбинации нагружения стропильной ноги, вызывающее сжатие древесины мауэрлата поперек волокон (рисунок 5.9 а), равное по величине расчетному значению распора  $H_{A,Edi}$  для рассматриваемой комбинации нагружения (рисунок 5.3);

$F_{c,90,Rdi}^*$  – расчетное значение сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон, расположенной в зоне контакта поверхности зуба стропильной ноги с мауэрлатом для  $i$ -й комбинации нагружения, определяют по формуле

$$F_{c,90,Rdi}^* = f_{c,90,di} \cdot A_d, \quad (5.84)$$

здесь  $A_d$  – расчетное значение опорной площадки мауэрлата, по поверхности зуба определяемое по формуле

$$A_d = h_1 \cdot (b_c + 30 \text{ мм}), \quad (5.85)$$

здесь  $h_1$  – глубина врубки (рис. 5.9 а));

– проверку несущей способности соединения стропильной ноги с упорным бруском (рисунок 5.9 б), соединенного со стропильной ногой посредством гвоздей, выполняют на соблюдение следующих условий:

а) при использовании в соединении гладких гвоздей (рисунок 5.9 б)

$$\frac{F_{ax,Edi}}{F_{ax,Rdi}} + \frac{F_{v,Edi}}{F_{v,Rdi}} \leq 1, \quad (5.86)$$

б) при использовании гвоздей с нарезкой по [14]

$$\left(\frac{F_{ax,Edi}}{F_{ax,Rdi}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Edi}}{F_{v,Rdi}}\right)^2 \leq 1, \quad (5.87)$$

здесь  $F_{ax,Edi}$  и  $F_{v,Edi}$  – расчетные значения усилий для  $i$ -й комбинации нагружения, действующих на элементы соединения (см. рисунок 5.9б), определяемые по формулам (5.92 и 5.93);

$F_{ax,Rdi}$  и  $F_{v,Rdi}$  – расчетное значение несущей способности гвоздей в соединении для  $i$ -й комбинации нагружения, воспринимающих осевые усилия растяжения и сдвига, определяемые согласно 9.3 и 9.4 [5] или формулам (5.90) и (5.91):

$$F_{ax,Edi} = F_{c,90,Edi}^* \cdot \sin \alpha = H_{A,Edi} \cdot \sin \alpha, \quad (5.88)$$

$$F_{v,Edi} = F_{c,90,Edi}^* \cdot \cos \alpha = H_{A,Edi} \cdot \cos \alpha. \quad (5.89)$$

$$F_{ax,Rdi} = \frac{F1_{ax,Rk} \cdot n_{ef} \cdot k_{mod,i}}{\gamma_M}, \quad (5.90)$$

$$F_{v,Rdi} = \frac{F1_{v,Rk} \cdot n_{ef} \cdot k_{mod,i}}{\gamma_M}, \quad (5.91)$$

здесь  $F1_{ax,Rk}$  – характеристическое значение несущей способности гвоздя на выдергивание из древесины, забитого перпендикулярно волокнам и определяемое по формулам (5.92) или (5.93);

$F1_{v,Rk}$  – характеристическое значение несущей способности гвоздя в плоскости сдвига на один срез, определяемое по формулам (5.96);

$n_{ef}$  – расчетное число гвоздей в соединении, определяемое в соответствии с правилами разделов 9.3 и 9.4 [5].

**5.6.3** Характеристическое значение несущей способности гвоздя  $F1_{ax,Rk}$ , забитого перпендикулярно волокнам (рисунок 5.9 б), при его выдергивание из древесины определяют по формулам:

– для гвоздей с нарезкой, изготовленных по [14]

$$F1_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{array} \right., \quad (5.92)$$

– для гладких гвоздей

$$F1_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,y} \cdot d_h^2 \end{array} \right., \quad (5.93)$$

где  $f_{ax,k}$  – характеристическое значение параметра прочности древесины в соединении с гвоздем при его выдергивании;

$f_{head,k}$  – характеристическое значение прочности древесины сжатию под головкой гвоздя;

$d$  – диаметр гвоздя;

$t_{pen}$  – расчетная длина заземленной части гвоздя со стороны острия;

$t$  – толщина деревянного элемента, непосредственно в который забиваются гвозди;

$d_h$  – номинальный диаметр головки гвоздя.

Для гладких гвоздей с длиной заземленной части не менее  $12d$ , характеристические значения  $f_{ax,k}$  и  $f_{head,k}$  допускается определять по формулам:

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 ; \quad (5.94)$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 , \quad (5.95)$$

где  $\rho_k$  – характеристическое значение плотности древесины,  $\text{кг/м}^3$ , принимают из таблиц приложения Б.

**5.6.4** При определении характеристического значения  $F1_{ax,Rk}$  несущей способности гвоздя выдергиванию из древесины руководствуются следующими правилами:

а) для гладких гвоздей, минимальная длина  $t_{pen}$  заземления со стороны острия гвоздя в древесине не должна быть меньше  $8d$ . При длине заземления гвоздя  $8d$  значение  $f_{ax,k}$  принимают равным нулю. Если длина заземленной части гвоздя со стороны острия меньше или равна  $12d$ , то за величину  $f_{ax,k}$  принимают значение, определенное по формуле (5.95). В случае, когда  $t_{pen}$  больше  $8d$ , но меньше  $12d$ , то  $f_{ax,k}$  умножают на  $(t_{pen} / 4d - 2)$ , где  $t_{pen}$  – длина заземления гвоздя в древесине со стороны острия;

б) для других типов гвоздей минимальная длина  $t_{pen}$  заземления гвоздя со стороны острия не должна быть меньше  $6d$ . При длине  $t_{pen} = 6d$ ,  $f_{ax,k} = 0$ . Если  $t_{pen} \leq 8d$ , то  $f_{ax,k}$  принимают равным значению, определенному по формуле (5.95). В случаях, когда  $t_{pen}$  находится в интервале от  $6d$  до  $8d$ , значение  $f_{ax,k}$  умножают на  $(t_{pen} / 2d - 3)$ .

**5.6.5** Характеристическое значение несущей способности  $F1_{v,Rk}$  гвоздя в плоскости сдвига на один срез определяют как минимальное значение, рассчитанное по формулам:

$$F1_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h1k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h2k} \cdot t_2 \cdot d \\ \frac{f_{h1k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F1_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h1k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F1_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h1k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F1_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h1k} \cdot d} + \frac{F1_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. , \quad (5.96)$$

где  $t_1$  – толщина подшивного бруска;

$t_2$  – высота поперечного сечения стропильной ноги;

$d$  – диаметр гвоздя;

$M_{y,Rk}$  – характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя; определяют по формулам (5.97) или (5.98);

$f_{h,i,k}$  – характеристическое значение прочности древесины  $i$ -го элемента соединения при вдавливании гвоздя плашмя по направлению волокон; определяют по формулам (5.99), (5.100);

$F1_{ax,Rk}$  – характеристическое значение несущей способности гвоздя при выдергивании из элемента соединения; определяют по формулам (5.92), (5.93);

$\beta$  – коэффициент, определяемый по формуле (5.101).

Характеристическое значение момента  $M_{y,Rk}$  для гвоздей поперечным сечением:  
– в форме круга

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}; \quad (5.97)$$

– в форме квадрата

$$M_{y,Rk} = 0,45 \cdot f_u \cdot d^{2,6}, \quad (5.98)$$

где  $d$  – диаметр гвоздя или размер стороны квадрата;

$f_u$  – прочность материала проволоки гвоздя при растяжении.

Характеристическое значение прочности  $f_{h,k}$  древесины при вдавливании гвоздей плашмя вдоль волокон определяют по формулам:

– для гвоздей диаметром до 8 мм

а) без предварительного сверления отверстий

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}, \quad (5.99)$$

б) с предварительным сверлением отверстий

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k, \quad (5.100)$$

– для гвоздей диаметром более 8 мм используют формулу (5.100),

где  $d$  – диаметр гвоздя;

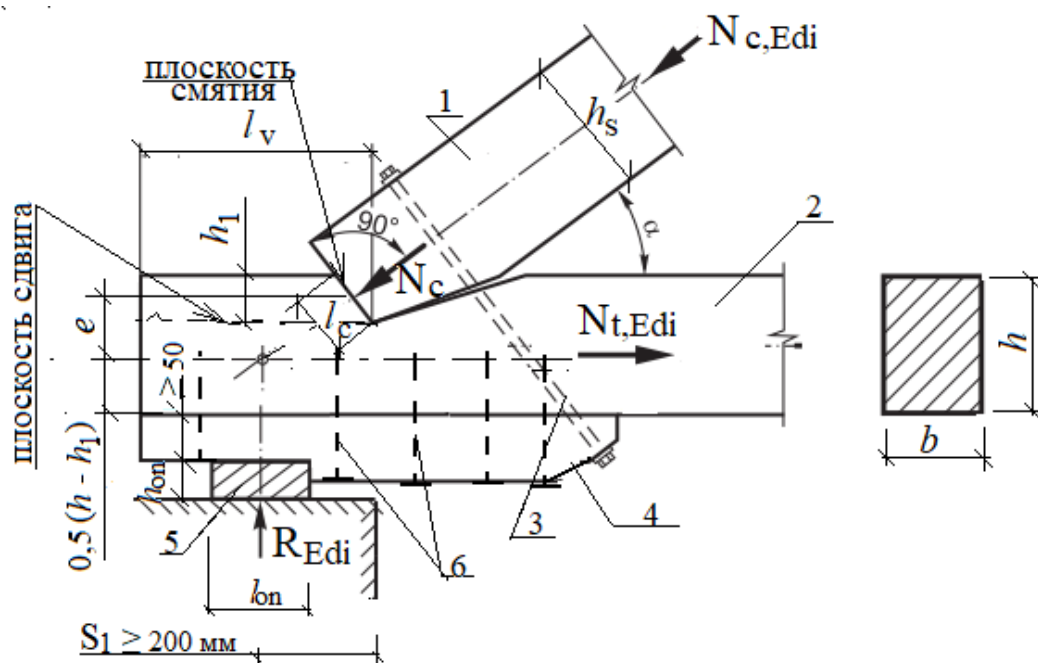
$\rho_k$  – характеристическое значение плотности древесины, кг/м<sup>3</sup>, принимаемое из таблиц приложения Б.

Значение коэффициента  $\beta$ , учитывающего отношение характеристического значения прочностей материала упорного бруска 1 и стропильной ноги 2 при вдавливании в них гвоздя плашмя, определяют по формуле

$$\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}}, \quad (5.101)$$

**5.6.6** При проектировании шарнирно подвижных узловых соединений стропильной ноги с мауэрлатом (рисунок 3.6) должна быть выполнена проверка сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон при опирании на мауэрлат стропильной ноги в соответствии с 5.6.2.

**5.6.7** При проектировании висячей стропильной системы с узловым соединением стропильной ноги и затяжки из брусьев или бревен на лобовой врубке рекомендуется выполнять ее с одним зубом (рисунок 5.10).



1 – стропильная нога; 2 – затяжка; 3 – стяжной болт;  
4 – подбалка; 5 – опорная подушка; 6 – гвозди

**Рисунок 5.10 – Схема соединения стропильной ноги с затяжкой на лобовой врубке с одним зубом**

**5.6.7.1** Лобовые врубки с одним зубом (рисунок 5.10) применяют в элементах стропильных систем, подкосно-ригельных системах с использованием брусьев или бревен. В узловом соединении не допускается наличие сучков, трещин, косослоя.

**5.6.7.2** При конструировании узлового соединения стропильной ноги с затяжкой на лобовой врубке необходимо руководствоваться следующими конструктивными требованиями:

- наибольшее ослабление лобовой врубкой в крайних узлах стропильной ноги и затяжки по высоте ее поперечного сечения  $h$  не должен превышать  $1/3h$ , при толщине затяжки менее 80 мм – не более  $1/4h$  (рисунок 5.10);
- минимальная глубина врубки в брусьях не должна быть менее 20 мм, а в бревнах – 30 мм;

- длина площадки скалывания  $l_v$  не должна быть менее  $1,5h$  (рисунок 5.10);

- для предотвращения появления дополнительных изгибающих моментов в местах с односторонним ослаблением растянутой затяжки необходимо соблюдать центрирование по ослабленным сечениям;

- во врубке с одним зубом (рисунок 5.10) рабочую плоскость  $l_c \times b$  смятия во врубках при соединении стропильной ноги с затяжкой, не испытывающих поперечного изгиба, располагают перпендикулярно оси стропильной ноги. Если стропильная нога помимо сжатия испытывает поперечный изгиб, рабочую плоскость сжатия (смятия) во врубке располагают перпендикулярно равнодействующей осевой и поперечной сил. Угол  $\alpha$  примыкания между стропильной ногой и затяжкой не должен превышать  $45^\circ$  (рисунок 5.10);

- высота сечения подбалки не должна быть менее 50 мм;

- высоту опорной подушки  $h_{on}$  принимают не менее 50 мм, а длину  $l_{on} \geq h_{on}$  (рисунок 5.10);

- элементы соединений на лобовых врубках должны быть стянуты болтами (рисунок 5.10). Стяжной болт от торца стропильной ноги располагают на расстоянии не менее  $7d$ , где  $d$  – диаметр стяжного болта.

**5.6.7.3** При проверке предельных состояний несущей способности узлового соединения стропильной ноги и затяжки на лобовой врубке должно соблюдаться условие

$$N_{Edi} \leq N_{\min,Rdi}, \quad (5.102)$$

где  $N_{Edi}$  – расчетное значение усилия действующего в элементе соединения;

$N_{\min,Rdi}$  – расчетное значение несущей способности узлового соединения, принимаемое равным минимальному значению, определенному из трех условий:

- прочности древесины сжатию под углом  $\alpha$  к направлению волокон по контактной площадке затяжки;
- прочности древесины растяжению вдоль волокон в ослабленном поперечном сечении затяжки;
- прочности древесины сдвигу вдоль волокон в поперечном сечении растянутого элемента.

$$N_{\min,Rdi} = \min \begin{cases} N_{c,\alpha,Rdi} \\ N_{t,Rdi} \\ V_{di} \end{cases}, \quad (5.103)$$

где  $N_{c,\alpha,Rd}$  – расчетное значение несущей способности упорной площадки затяжки, определяемое из условия прочности древесины сжатию под углом  $\alpha$  к волокнам (рисунок 5.10) по формуле (5.104);

$N_{t,Rd}$  – расчетное значение несущей способности растянутой затяжки в ослабленном врубкой поперечном сечении, определяемое из условия прочности древесины растяжению вдоль волокон по формуле (5.107);

$V_d$  – расчетное значение несущей способности затяжки, определяемое из условия прочности древесины при скалывании (сдвиге) вдоль волокон по формуле (5.106).

$$N_{c,\alpha,Rdi} = \frac{f_{c,\alpha,di} \cdot b \cdot h_1}{\cos \alpha}, \quad (5.104)$$

где  $f_{c,\alpha,di}$  – расчетное значение прочности древесины при сжатии (смятии) под углом  $\alpha$  к волокнам, определяемое по формуле (5.105);

$b$  – ширина поперечного сечения затяжки;

$h_1$  – глубина врубки в затяжке.

$$f_{c,\alpha,di} = \frac{f_{c,0,di}}{\frac{f_{c,0,di}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,di}} \cdot (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}, \quad (5.105)$$

здесь  $f_{c,0,di}$  – расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон, определяемое по формуле (5.70);

$k_{c,90}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сжатия в древесине элемента по длине контактной площадки  $l_c$  (рисунок 5.10). Поскольку во врубках сжатие затяжки происходит на части высоты ее поперечного сечения, то  $k_{c,90} = 1,67$ ;

$f_{c,90,di}$  – расчетное значение прочности древесины затяжки при сжатии поперек волокон для  $i$ -й комбинации нагружения определяют по формуле

$$f_{c,90,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (5.106)$$

Если в ослабленном сечении узла лобовой врубки растягивающее усилие  $N_{t,d}$  приложено по его центру (рисунок 5.10), то значение  $N_{t,Rdi}$  определяют по формуле

$$N_{t,Rd} = f_{t,0,d} \cdot A_{net}, \quad (5.107)$$

где  $f_{t,0,di}$  – расчетное значение прочности древесины затяжки при растяжении вдоль волокон для  $i$ -ой комбинации нагружения, определяемое по формуле (5.108);

$A_{net}$  – площадь нетто в ослабленном сечении, равная  $A_{net} = b \cdot (h - h_1)$ ,  $h$  – высота поперечного сечения затяжки,  $h_1$  – глубина врубки,  $b$  – ширина поперечного сечения затяжки.

$$f_{t,0,di} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot k_h}{\gamma_M}, \quad (108)$$

где  $f_{t,0,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон, принимаемое из таблиц приложения Б;

$k_h$  – коэффициент, определяемый в соответствии с правилами 5.6.2 [5].

В случае, когда растягивающее усилие приложено с эксцентриситетом  $e$  по отношению к центру ослабленного сечения, расчетное значение несущей способности  $N_{t,Rdi}$  затяжки определяют как для случая внецентренно-растянутого элемента согласно 7.4 [5].

Расчетное значение несущей способности растянутой затяжки узла от сдвига в ее поперечном сечении определяют по формуле

$$V_{di} = \frac{f_{v,di}}{1 + k_{v1} \cdot \left(\frac{l_v}{e}\right)} \cdot b \cdot l_v, \quad (5.109)$$

где  $f_{v,di}$  – расчетное значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон, определяемое по формуле (5.110);

$k_{v1}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига по длине площадки скалывания в растянутом элементе, значение которого принимают равным 0,25;

$e$  – эксцентриситет, значение которого принимают равным 0,5 ( $h - h_1$ ).

Расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон определяют по формуле

$$f_{v,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (5.110)$$

где  $f_{v,k}$  – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон, определяемое из таблиц приложения Б.

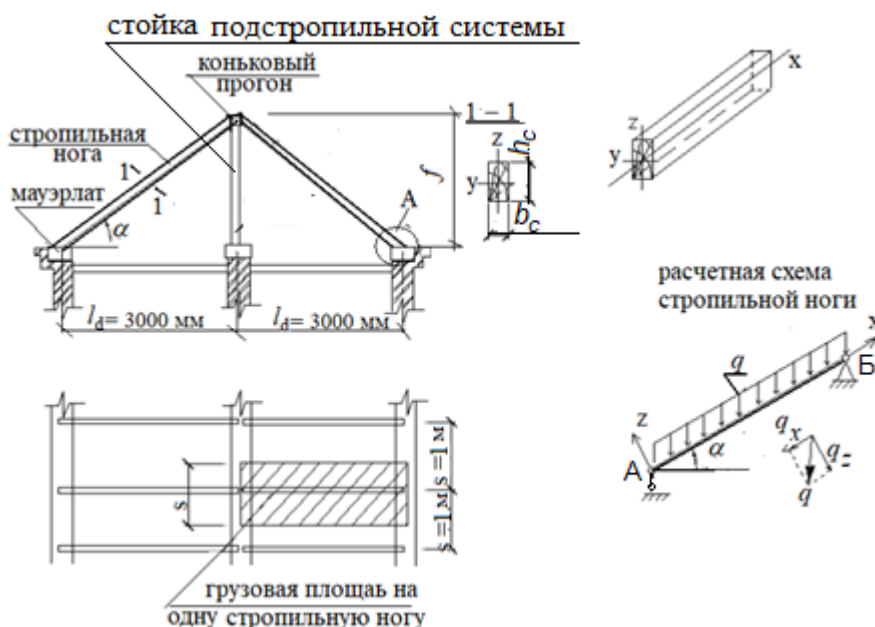
## 5.7 Пример конструирования и расчета двускатной безраспорной наслонной стропильной системы

### Исходные данные

Запроектировать наслонную безраспорную стропильную систему для малоэтажного здания с размером в плане  $B \times L = 6 \times 8,5$  м с продольными несущими стенами. Наружные и внутренние стены выполнены из полнотелого кирпича на песчано-



цементном растворе (рисунок 5.11). Крыша здания – двускатная с углом уклона  $\alpha = 35^\circ$ . В коньке стропила с противоположных сторон соединены между собой и опираются на прогон. Коньковый прогон по длине здания состоит из двух элементов, опирающихся по середине длины здания на деревянную стойку, а по торцам на кирпичные столбы фронтонов. В опорных узлах коньковый прогон закреплен от смещения в поперечном направлении. Несущими элементами чердачного перекрытия здания являются деревянные балки. Учитывая несимметричное распределение снеговой нагрузки на покрытие [2] для исключения смещения стойки в поперечном направлении здания ее раскрепляют подкосами, соединенными с оголовком стойки и балкой перекрытия. Расстояние между опорами прогона составляет 4 м. Класс последствий здания СС2. Все элементы стропильной системы изготавливают из пиломатериалов. Шаг стропильных ног  $s = 1$  м.



**Рисунок 5.11 – Поперечный разрез и фрагмент плана двускатной наслонной стропильной системы одноэтажного здания**

Значение нагрузок, действующих на стропильную систему здания:

– характеристическое значение постоянной нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  площади покрытия  $g_{1k} = 0,25 \text{ кН/м}^2$ , а характеристическое значение постоянной нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальную проекцию покрытия  $g_k = 0,31 \text{ кН/м}^2$ ;

– характеристическое значения переменной снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия  $q_{1s,k} = 1,55 \text{ кН/м}^2$ .

Пролет между осями продольных стен  $l_d = 3 \text{ м}$  (рисунок 5.11). Отметка поверхности мауэрлата составляет  $H_m = +2,8 \text{ м}$ .

При проектировании стропильной системы воспользуемся следующей последовательностью:

### 5.7.1 Определение воздействий на элементы стропильной системы

Определим отметку конька, используя выражение

$$H_k = H_m + f = 2,8 + l_d \cdot \text{tg}35^\circ = 2,8 + 3 \cdot 0,7 = 4,9 \text{ м} .$$

Поскольку отметка  $H_k$  в коньке не превышает 5 м, то расчет конструкций стропильной системы на действие ветровой нагрузки согласно 5.4.4 не производим. Таким образом, при определении внутренних усилий в элементах стропильной системы следует учитывать действие постоянной и переменной снеговой нагрузок.

### **5.7.2 Выбор материалов, определение их характеристических значений и предварительное назначение геометрических параметров элементов стропильной системы**

Для изготовления стропильных ног, мауэрлата, коньковых прогонов и стойки используем пиломатериалы. Принимаем класс прочности древесины стропил С 22, а прогонов, мауэрлата и стойки – С 18. Класс эксплуатации 2.

При назначении размеров элементов стропильной системы и их поперечных сечений руководствуемся рекомендациями раздела 5.1 и действующего сортамента пиломатериалов, приведенного в таблице А.1 приложения А.

Согласно п. 5.1.7 поперечное сечение  $h_c \times b_c$  стропильной ноги принимаем 175 x 50 мм. Согласно п. 5.1.5 поперечное сечение мауэрлата принимаем  $b_m \times h_m = 150 \times 50$  мм, прогона  $b_n \times h_n = 150 \times 175$  мм. Исходя из рекомендаций п. 5.1.6 поперечное сечение стойки принимаем  $b_{cm} \times h_{cm} = 100 \times 100$  мм.

Согласно таблице Б1 приложения Б характеристические значения прочностных и упругих характеристик древесины стропильной ноги для класса прочности пиломатериала С 22 составляют:

- значение прочности при изгибе  $f_{m,k} = 22$  Н/мм<sup>2</sup>;
- значение прочности при сжатии вдоль волокон  $f_{c,0,k} = 20$  Н/мм<sup>2</sup>.

Среднее значение модуля упругости  $E_{0,mean} = 10000$  Н/мм<sup>2</sup>.

Характеристические значения прочностных и упругих характеристик древесины для класса прочности пиломатериала С 18 составляют:

- значение прочности при изгибе  $f_{m,k} = 18$  Н/мм<sup>2</sup>;
- значение прочности при сжатии вдоль волокон  $f_{c,0,k} = 18$  Н/мм<sup>2</sup>;
- значение прочности при сжатии поперек волокон  $f_{c,90,k} = 2,2$  Н/мм<sup>2</sup>.

Среднее значение модуля упругости вдоль волокон  $E_{0,mean} = 9000$  Н/мм<sup>2</sup>.

### **5.7.3 Определение значений частных коэффициентов**

В соответствии с требованиями [5, 6] при проверках предельных состояний несущей способности для определения расчетного значения постоянного воздействия частный коэффициент  $\gamma_G = 1,35$ , а для переменного воздействия (снеговой нагрузки) –  $\gamma_Q = 1,5$ . Для класса последствий СС2 значение коэффициента  $k_{Fi} = 1,0$ .

В соответствии с данными, приведенными в таблице А.2 приложения А, для класса эксплуатации 2:

- значение коэффициента модификации при действии на стропильную систему только постоянной нагрузки  $k_{mod,g} = 0,6$ ;
- значение коэффициента модификации при совместном действии на элементы стропильной системы постоянной и среднесрочной (снеговой) нагрузок  $k_{mod,q} = 0,8$ .

### **5.7.4 Определение расчетных значений нагрузок и комбинаций нагружения рядовой стропильной ноги**

Определим значения  $\sin \alpha = \sin 35^\circ = 0,57$  и  $\cos \alpha = \cos 35^\circ = 0,819$ .

Расчетные значения нагрузок на 1 м длины горизонтальной проекции стропильной ноги (кроме крайних) будут составлять:

- постоянная равномерно распределенная нагрузка по всему пролету (нагружение 1);

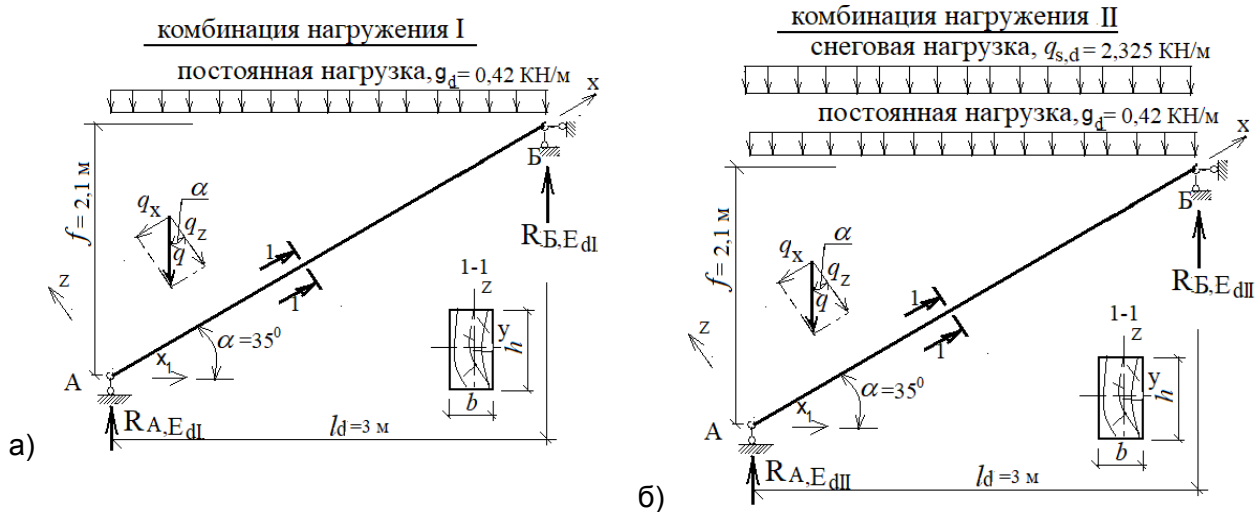
$$g_d = k_{Fi} \cdot \gamma_G \cdot g_{1k} \cdot s / \cos \alpha = 1 \cdot 1,35 \cdot 0,25 \cdot 1 / \cos 35^\circ = 0,34 / 0,819 = 0,42 \text{ кН / м} .$$

- переменная снеговая равномерно распределенная нагрузка по всему пролету (нагружение 2)

$$q_{s,d} = k_{Fi} \cdot \gamma_Q \cdot q_{1s,k} \cdot s = 1 \cdot 1,5 \cdot 1,55 \cdot 1 = 2,325 \text{ кН / м} .$$

При действии на стропильную ногу только двух нагрузок возможны две комбинации нагружения (сочетания нагрузок):

- комбинация нагружения I, состоящая из постоянной нагрузки  $g_d$  (рисунок 5.12 а);
- комбинация нагружения II, состоящая из совместного действия постоянной и снеговой нагрузок (рисунок 5.12 б).



а) – для комбинация нагружения I – постоянная нагрузка  $g_d$ ; б) – для комбинация нагружения II – постоянная нагрузка  $g_d$  + переменная снеговая нагрузка  $q_{s,d}$

**Рисунок 5.12 – Расчетные схемы стропильной ноги**

### 5.7.5 Статический расчет рядовой стропильной ноги

Статический расчет стропильной ноги выполняем с использованием правил строительной механики.

Для каждой комбинации нагружения (рисунок 5.12), согласно п. 5.4.5, определяют расчетные значения внутренних усилий (эффектов воздействий) в сечениях стропильной ноги.

Поскольку в комбинациях (сочетаниях) нагружения присутствует только одна переменная нагрузка (снеговая – комбинация II), то согласно п. 5.2.5 значения коэффициентов  $\xi$  и  $\psi$  равны единице. Исходя из этого, расчетное значение общей нагрузки при проверках предельных состояний несущей способности определяют простым суммированием расчетных значений отдельных нагрузок, которое для данного примера будет составлять:

- для комбинации нагружения I (рисунок 5.12а)

$$q_{dI} = g_d = 0,42 \text{ кН/м};$$

- для комбинации нагружения II (рисунок 5.12б)

$$q_{dII} = g_d + q_{s,d} = 0,42 + 2,325 = 2,75 \text{ кН/м}.$$

Расчетные значения реакций и внутренних усилий в сечениях стропильной ноги (рисунок 5.12) определяют с использованием формул, приведенных в п. 5.4.5.

Для комбинации нагружения I (от действия постоянной нагрузки  $q_{dI} = g_d = 0,42 \text{ кН/м}$ )

- расчетные значения опорных реакций

$$R_{A,EdI} = R_{B,EdI} = k_{Fl} \cdot q_I \cdot \frac{l_d}{2} = 1 \cdot 0,42 \cdot \frac{3}{2} = 0,63 \text{ кН} = 630 \text{ Н}.$$

– расчетные значения продольного усилия  $N_c$  и изгибающего момента  $M_{y,d}$ , возникающих в сечении стропильной ноги, расположенном в середине ее пролета будут составлять:

$$N_{c,EdI} = k_{FI} \cdot q_I \cdot \left(\ell_{x,d} - \frac{\ell_d}{2}\right) \cdot \sin \alpha = 1 \cdot 0,42 \cdot \left(1,5 - \frac{3}{2}\right) \cdot 0,57 = 0;$$

$$M_{y,EdI} = k_{FI} \cdot q_I \cdot \frac{\ell_d^2}{8} = 1 \cdot 0,42 \cdot \frac{3^2}{8} = 0,47 \text{ кН} \cdot \text{м} = 0,47 \text{Н} \cdot 10^6 \text{ мм}.$$

Для комбинации II (от совместного действия постоянной и переменной снеговой нагрузок,  $q_{dII} = 2,75 \text{ кН/м}$ )

– расчетные значения опорных реакций

$$R_{A,EdII} = R_{B,EdII} = k_{FI} \cdot q_{II} \cdot \frac{\ell_d}{2} = 1 \cdot 2,75 \cdot \frac{3}{2} = 4,13 \text{ кН} = 4130 \text{ Н}.$$

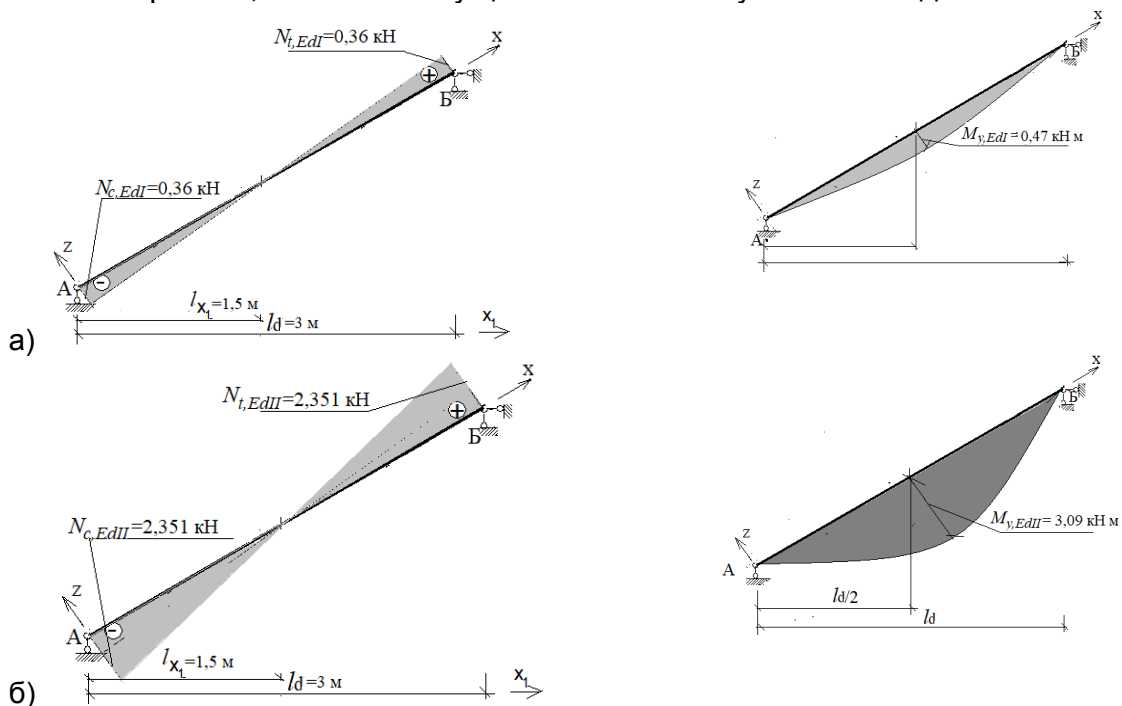
– расчетные значения продольного усилия  $N_c$  и изгибающего момента  $M_{y,d}$ , возникающих в сечении стропильной ноги, расположенном по середине ее пролета (рисунок 5.13б)

$$N_{c,EdII} = k_{FI} \cdot q_{II} \cdot \left(\ell_{x,d} - \frac{\ell_d}{2}\right) \cdot \sin \alpha = 1 \cdot 2,75 \cdot \left(1,5 - \frac{3}{2}\right) \cdot 0,57 = 0$$

$$M_{y,EdII} = k_{FI} \cdot q_{II} \cdot \frac{\ell_d^2}{8} = 1 \cdot 2,75 \cdot \frac{3^2}{8} = 3,09 \text{ кН} \cdot \text{м} = 3,09 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

На основании выполненного статического расчета стропильной ноги определяем самую невыгодную комбинацию нагружения, руководствуясь рекомендациями 5.5.2. Определим для каждой комбинации нагружения значения отношений величин внутренних усилий к величинам коэффициентов модификации.

Для поперечного сечения стропильной ноги, отстоящем по горизонтали от опоры А на расстоянии  $l_d = 1,5 \text{ м}$  отношение  $M_{y,EdI}/k_{mod,I} = 0,47/0,6 = 0,783$  и  $M_{y,EdII}/k_{mod,II} = 3,09/0,8 = 3,8625$ . Анализируя значения данных отношений можно сделать вывод, что расчетной комбинацией нагружения является комбинация II (рисунок 5.12 б), при которой внутренние усилия являются определяющими при выполнении проверок предельных состояний несущей способности стропильной ноги, конькового прогона, стойки и несущей способности узловых соединений.



а) – для комбинации нагружения I; б) – для комбинации нагружения II

**Рисунок 5.13 – Эпюры изгибающих моментов  $M_{y,Edi}$  и продольных усилий  $N_{c,Edi}$  в поперечных сечениях стропильной ноги**

### 5.7.6 Определение расчетных значений прочностных характеристик материалов элементов стропильной системы

Для стропильной ноги с предварительно принятым поперечным сечением  $b_c \times h_c = 50 \times 175$  мм для класса прочности пиломатериала С 22:

– расчетные значения прочности древесины при изгибе определяем по формуле (5.56) с учетом правил 5.6.2 [5], где при  $h \geq 150$  мм, значение  $k_h = 1$ . Тогда

$$f_{m,y,dll} = \frac{k_{mod,ll} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 22}{1,3} = 13,54 \text{ Н / мм}^2 ;$$

– расчетные значения прочности древесины при сжатии вдоль волокон определяем по формуле

$$f_{c,0,dll} = \frac{k_{mod,ll} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20}{1,3} = 12,31 \text{ Н / мм}^2 .$$

Для мауэрлата и прогона для класса прочности пиломатериала С 18 с предварительно принятыми поперечными сечениями  $b_m \times h_m = 150 \times 50$  мм и  $b_n \times h_n = 150 \times 175$  мм соответственно:

– расчетные значения прочности древесины при сжатии поперек волокон определяем по формуле

$$f_{c,90,dll} = \frac{k_{mod,ll} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,2}{1,3} = 1,35 \text{ Н / мм}^2 ;$$

– расчетные значения прочности древесины прогона при изгибе определяем по формуле (5.56) с учетом правил 5.6.2 [5], где при  $h \geq 150$  мм, значение  $k_h = 1$ . Тогда

$$f_{m,y,dll} = \frac{k_{mod,ll} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18}{1,3} = 11,08 \text{ Н / мм}^2 ,$$

– расчетные значения прочности древесины стойки и прогона при сжатии вдоль волокон определяем по формуле

$$f_{c,0,dll} = \frac{k_{mod,ll} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18}{1,3} = 11,08 \text{ Н / мм}^2 .$$

### 5.7.7 Проверка предельных состояний рядовой стропильной ноги

На основании статического расчета было установлено, что стропильная нога испытывает изгиб, растяжение в поперечных сечениях верхней части и сжатие в поперечных сечениях нижней ее части. Максимальное значение изгибающего момента характерно для поперечного сечения, расположенного посередине пролета стропильной ноги. Значение продольного усилия в данном сечении равняется нулю. Поэтому проверку стропильной ноги выполняют как изгибаемого элемента, т. е. в данном случае должно соблюдаться условие

$$\frac{M_{y,Edll}}{M_{y,Rdll}} \leq 1.$$

Согласно статическому расчету  $M_{y,dll} = 3,09$  кН·м. Определим сопротивление изгибу в нормальном сечении стропильной ноги, используя формулу

$$M_{y,Rdll} = f_{m,dll} \cdot W_d = f_{m,dll} \cdot \frac{b_c \cdot h_c}{6} = \frac{13,54 \cdot 50 \cdot 175^2}{6} = 3,46 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 3,46 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

$$\frac{M_{y,Edll}}{M_{y,Rdll}} = \frac{3,09}{3,46} = 0,89 < 1 \text{ – условие выполнено.}$$

### 5.7.8 Проверка сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон от давления стропильной ноги

Данную проверку выполняют в соответствии с рекомендациями 5.6.2.

Расчетное значение опорной площади сжатия определяем по формуле (5.82).

$$A_d = b_m \cdot (b_c + 30 \text{ мм}) = 150 \cdot (50 + 30) = 12 \cdot 10^3 \text{ мм}^2.$$

Расчетное значение сопротивления опорной площадки мауэрлата сжатию древесины поперек волокон от давления стропильной ноги определяем по формуле (5.77)

$$F_{c,90,RdII} = f_{c,90,dII} \cdot k_{c,90} \cdot A_d = 1,35 \cdot 1,25 \cdot 12 \cdot 10^3 = 20250 \text{ Н} = 20,25 \text{ кН}.$$

Согласно статическому расчету, расчетное значение усилия сжимающего древесины мауэрлата поперек волокон  $R_{A,EdII} = F_{c,90,EdII} = 4,13 \text{ кН}$ . Поскольку  $F_{c,90,RdII} > F_{c,90,EdII}$ , несущая способность опорной площадки обеспечена.

### 5.7.9 Проверка предельного состояния эксплуатационной пригодности рядовой стропильной ноги

Данную проверку выполняем в соответствии с рекомендациями 5.2.4.

Предварительно определим характеристические значения нагрузок на 1 м длины горизонтальной проекции рядовой стропильной ноги (кроме крайних), где они составят:

– постоянная равномерно распределенная нагрузка по всему пролету

$$g_k = k_{FI} \cdot g_{1k} \cdot s / \cos \alpha = 1 \cdot 0,25 \cdot 1 / \cos 35^\circ = 0,25 / 0,819 = 0,31 \text{ кН / м}.$$

– переменная снеговая равномерно распределенная нагрузка по всему пролету

$$q_{s,k} = k_{FI} \cdot q_{1s,k} \cdot s = 1 \cdot 1,55 \cdot 1 = 1,55 \text{ кН / м}.$$

Согласно 5.4.7 определяем значение начального прогиба стропильной ноги по направлению оси z (рисунок 5.11) от действия постоянной  $U_{z,inst,g}$  и  $U_{z,inst,q}$  переменной снеговой нагрузок, используя формулы (5.46) и (5.47)

$$U_{z,inst,g} = \frac{5 \cdot g_k \cdot \ell_d^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{5 \cdot 0,31 \cdot 3000^4}{384 \cdot 10000 \cdot \frac{50 \cdot 175^3}{12} \cdot 0,819^2} = 2,18 \text{ мм};$$

$$U_{z,inst,q_s,k} = \frac{5 \cdot q_{s,k} \cdot \ell_d^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{5 \cdot 1,55 \cdot 3000^4}{384 \cdot 10000 \cdot \frac{50 \cdot 175^3}{12} \cdot 0,819^2} = 10,91 \text{ мм}.$$

Определяем значение начального прогиба от кратковременного приложения постоянной и переменной снеговой нагрузок по формуле

$$U_{z,inst} = U_{z,inst,g} + U_{z,inst,q} = 2,18 + 10,91 = 13,1 \text{ мм}.$$

Согласно рекомендациям 5.2.8 определяем значение прогиба от ползучести древесины при действии постоянной нагрузки  $g_k$

$$U_{z,creep} = k_{def} \cdot U_{z,inst,g} = 2,18 \cdot 0,8 = 1,74 \text{ мм},$$

здесь  $k_{def}$  – коэффициент ползучести древесины, значение которого согласно таблице 5.5 [5] для класса эксплуатации 2 составляет 0,8.

В соответствии с 5.2.7 определяем расчетное значение полного прогиба, используя формулу

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} + u_{z,creep} = 13,1 + 1,74 = 14,84 \text{ мм}$$

Определяем расчетное значение относительного прогиба, используя формулу

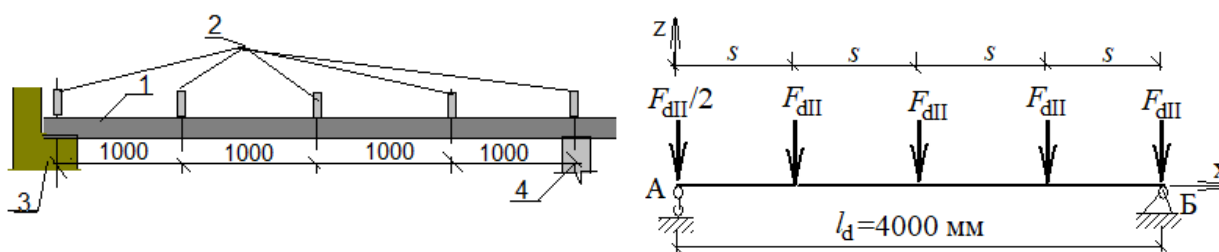
$$\frac{u_{z,fin}}{l_x} = \frac{u_{z,fin}}{l_d / \cos \alpha} = \frac{14,84}{3000 / 0,819} = 4 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{250}, \text{ что меньше предельного } u_{c,d} \text{ значения,}$$

установленного в 5.2.4 равным  $l_x/200$ . Таким образом, предельное состояние эксплуатационной пригодности стропильной ноги обеспечено.

### 5.7.10 Проверка предельных состояний конькового прогона

Проверку предельных состояний конькового прогона выполняем в соответствии с рекомендациями 5.2.4, и 5.4.9.

Поскольку коньковый прогон состоит из двух по длине здания элементов, опирающихся у фронтонов на кирпичные столбы и центральную стойку из древесины, расчетная схема каждого элемента может быть представлена в виде однопролетной шарнирно опертой балки, нагруженной сосредоточенными усилиями  $F_d$ , обусловленными давлением стропильных ног (рисунок 5.14). Пролет балок составляет  $l = 4$  м, т. е.  $4s$ .



1 – коньковый прогон; 2 – стропильные ноги; 3 – кирпичная стена фронтона;  
4 – деревянная стойка подстропильной системы

**Рисунок 5.14 – Общая и расчетная схемы элемента конькового прогона**

Значение нагрузки  $F_{dII} = 2 R_{Б,EdII} = 2 \cdot 4,13 = 8,26$  кН.

Определим значение изгибающего момента посередине пролета элемента прогона, используя формулу

$$M_{y,EdII} = \frac{3}{2} \cdot F_{dII} \cdot 2 \cdot s - F_{dII} \cdot s = 2 \cdot 8,26 = 16,52 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

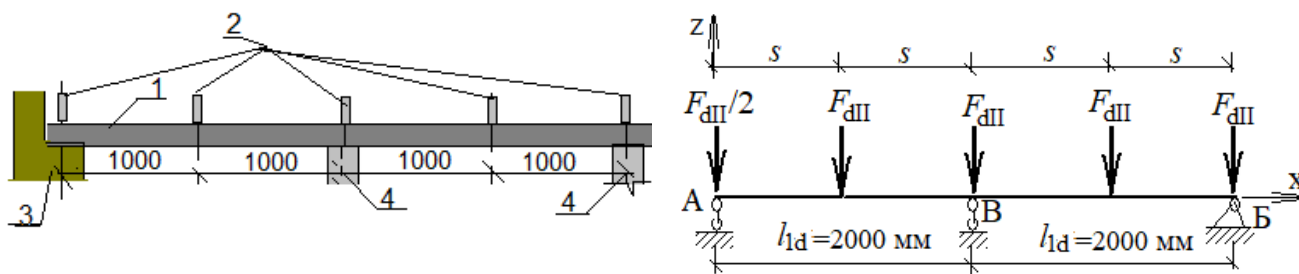
Рассчитаем сопротивление изгибу поперечного сечения прогона, используя формулу

$$M_{y,RdII} = f_{m,dII} \cdot \frac{b_n \cdot h_n^2}{6} = 11,08 \cdot \frac{150 \cdot 175^2}{6} = 8483125 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 8,48 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сопоставляя значения  $M_{y,RdII}$  и  $M_{y,EdII}$ , можно сделать вывод, что несущая способность прогона поперечным сечением  $b_n \times h_n = 150 \times 175$  мм и класса прочности древесины С 18 не обеспечена.

Для обеспечения несущей способности прогона устанавливаем по его длине через 2 м дополнительно две стойки. Таким образом, пролет между стойками составляет 2 м. При такой расстановке стоек каждый элемент прогона следует рассматривать как двухпролетную неразрезную балку с расчетными пролетами  $l_{ld} = 2$  м (рисунок 5.15).





1 – коньковый прогон; 2 – стропильные ноги; 3 – кирпичная стена фронтона;  
4 – деревянная стойка подстропильной системы

**Рисунок 5.15 – Общая и расчетная схемы элемента конькового прогона с дополнительно установленной стойкой**

Определим значение изгибающего момента на средней опоре двухпролетной, неразрезной балки (прогона), используя формулу

$$M_{y,EdII} = \frac{3 \cdot \ell_{1d}}{16} \cdot F_{dII} = \frac{3 \cdot 2}{16} \cdot 8,26 = 3,09 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сопоставляя новое значение  $M_{y,EdII}$  со значением  $M_{y,RdII}$ , можно отметить значительный запас. С целью повышения эффективности использования поперечного сечения прогона принимаем его сечение  $b_n \times h_n = 100 \times 150$  мм.

Рассчитаем сопротивление изгибу измененного поперечного сечения прогона, используя формулу

$$M_{y,RdII} = f_{m,dII} \cdot \frac{b_n \cdot h_n^2}{6} = 11,08 \cdot \frac{100 \cdot 150^2}{6} = 4155000 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 4,155 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сопоставляя значения  $M_{y,RdII}$  и  $M_{y,EdII}$ , можно сделать вывод, что несущая способность прогона поперечным сечением  $b_n \times h_n = 100 \times 150$  мм и класса прочности древесины С 18 обеспечена.

#### 5.7.11 Проверка предельного состояния эксплуатационной пригодности элементов конькового прогона

Данную проверку выполняем в соответствии с рекомендациями 5.2.4.

Предварительно определим характеристические значения усилий  $F_{g,k}$  и  $F_{q,k}$ , вызванных воздействием на стропильную ногу постоянной и переменной снеговой нагрузок, используя для этого формулы:

$$F_{g,k} = 2 \cdot k_{Fl} \cdot q_k \cdot \frac{\ell_d}{2} = 2 \cdot 1 \cdot 0,31 \cdot \frac{3}{2} = 0,93 \text{ кН} / \text{м} = 0,93 \text{ Н} / \text{мм}.$$

$$F_{qs,k} = 2 \cdot k_{Fl} \cdot q_{s,k} \cdot \frac{\ell_d}{2} = 2 \cdot 1 \cdot 1,55 \cdot \frac{3}{2} = 4,65 \text{ кН} / \text{м} = 4,65 \text{ Н} / \text{мм}.$$

Согласно 5.4.7 определяем значение начальных прогибов  $u_{z,inst,g}$  и  $u_{z,inst,q}$  элемента конькового прогона по направлению оси z (рисунок 5.15) от действия постоянной и переменной снеговой нагрузок, используя формулы

$$u_{z,inst,g} = \frac{F_{g,k} \cdot \ell_d^3}{107,3 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d} = \frac{0,93 \cdot 2000^3}{107,3 \cdot 9000 \cdot \frac{100 \cdot 150^3}{12}} = 2,74 \cdot 10^{-4} \text{ мм},$$

$$u_{z,inst,q_s} = \frac{F_{q_s,k} \cdot \ell_d^3}{107,3 \cdot E_{0,mean} \cdot I_d} = \frac{4,65 \cdot 2000^3}{107,3 \cdot 9000 \cdot \frac{100 \cdot 150^3}{12}} = 1,37 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

Определяем суммарное значение начального прогиба от кратковременного приложения постоянной и переменной снеговой нагрузок по формуле

$$u_{z,inst} = u_{z,inst,g} + u_{z,inst,q_s} = 2,74 \cdot 10^{-4} + 1,37 \cdot 10^{-3} = 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям 5.2.8 определяем значение прогиба от ползучести древесины при действии постоянной нагрузки  $g_k$

$$u_{z,creep} = k_{def} \cdot u_{z,inst,g} = 2,74 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8 = 2,19 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

здесь  $k_{def}$  – коэффициент ползучести древесины, значение которого согласно таблице 5.5 [5] для класса эксплуатации 2 составляет 0,8

В соответствии с 5.2.7 определяем расчетное значение полного прогиба, используя формулу

$$u_{z,fin} = u_{z,inst} + u_{z,creep} = 1,64 \cdot 10^{-3} + 2,19 \cdot 10^{-4} = 1,86 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Определяем расчетное значение относительного прогиба, используя формулу

$$\frac{u_{z,fin}}{\ell_{1d}} = \frac{1,86 \cdot 10^{-3}}{2000} = 9,3 \cdot 10^{-7} = \frac{1}{1075847}, \text{ что меньше предельного } u_{c,d} \text{ значения, уста-}$$

новленного в 5.2.4, равным  $\ell_{1d} / 200 = 10$  мм. Таким образом, предельное состояние эксплуатационной пригодности элемента конькового прогона обеспечено.

В результате выполненных проверок окончательно поперечное сечение элемента конькового прогона принимаем  $b_n \times h_n = 100 \times 150$  мм, длину – 4000 мм с опиранием на три опоры с пролетами 2000 мм.

#### **5.7.12 Проверка сопротивления опорного участка элемента прогона действию сжимающего поперек волокон древесины усилия, возникающего в стойке поперечным сечением $b_{cm} \times h_{cm} = 100 \times 100$ мм от давления стропильных ног на прогон**

Первоначально определим значение усилия сжимающего усилия  $N_{c,90,dll}$ , вызывающего сжатие древесины поперек волокон на участке опирания прогона на стойку. Расчетное значение усилия  $N_{c,90,Edll}$  равняется вертикальной реакции  $R_{B,dll}$ , возникающей от давления стропильных ног в опоре В элемента прогона (рисунок 5.15), которое определяют формуле

$$N_{c,90,Edll} = R_{B,dll} = 1,375 \cdot F_{dll} + F_{dll} = 2,375 \cdot F_{d,ll} = 2,375 \cdot 8,26 = 19,62 \text{ кН}.$$

Расчетное значение сопротивления опорного участка на средней опоре элемента прогона действию сжимающего поперек волокон древесины усилия определяют по формуле (7.58) [5]

$$N_{c,90,RdII} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,dII} \cdot A_{90,d} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,dII} \cdot b_n \cdot (h_{cm} + 2 \cdot 30) = 1,5 \cdot 1,35 \cdot 100 \cdot (100 + 2 \cdot 30) = 32,4 \text{ кН}.$$

Сопоставляя значение  $N_{c,90,EdII} = 19,62 \text{ кН}$  со значением  $N_{c,90,RdII} = 32,4 \text{ кН}$ , можно сделать вывод, что несущая способность опорной площадки прогона обеспечена.

### 5.7.13 Проверка несущей способности опорной стойки подстропильной системы

Данную проверку выполняют в соответствии с рекомендациями 5.5.8. Длина стойки  $l_d = 2,1 \text{ м}$ .

Предварительно определяют гибкость  $\lambda$  стойки относительно осей  $y$  и  $z$ , используя формулы (5.77) и (5.78). Поскольку поперечное сечение стойки квадратное, то значения гибкости относительно осей  $y$  и  $z$  будут одинаковыми.

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{l_d}{h / \sqrt{12}} = \frac{2100}{100 / \sqrt{12}} = 72,75.$$

Определяем приведенную гибкость стойки, которая изготавливается из древесины класса прочности С 18, используя формулу (5.75)

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{72,75}{3,14} \sqrt{\frac{18}{6000}} = 1,27.$$

Поскольку приведенная гибкость  $\lambda_{rel,y}$  и  $\lambda_{rel,z}$  больше 0,3, то согласно 5.5.8 стойку должны проверять как центрально сжатый элемент с учетом продольного изгиба. Определяем значение коэффициента  $k_y$ , используя формулу (5.73)

$$k_y = 0,5 \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,2 \cdot (1,27 - 0,3) + 1,27^2 \right] = 1,4.$$

Определяем значение коэффициента  $k_{c,y}$ , используя формулу (5.71).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,4 + \sqrt{1,4^2 - 1,27^2}} = 0,5.$$

Согласно 5.5.8 определяем расчетное значение сопротивления в поперечном сечении стойки сжатию древесины вдоль волокон, используя формулу (5.69).

$$N_{c,RdII} = A_d \cdot k_{c,min} \cdot f_{c,0,dII} = 100 \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot 11,08 = 55400 \text{ Н} = 55,4 \text{ кН}.$$

Расчетное значение усилия  $N_{c,EdII}$ , действующего на стойку равному усилию сжатия на средней опоре элемента прогона, т. е.  $N_{c,EdII} = N_{c,90,EdII} = 19,62 \text{ кН}$ . Поскольку  $N_{c,RdII} > N_{c,EdII}$ , то несущая способность опорной стойки подстропильной системы обеспечена.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А (рекомендуемое)

Рекомендуемый сортамент пиломатериалов и значения частных коэффициентов  $\gamma_M$  и  $k_{mod}$

**Таблица А.1 – Рекомендуемый сортамент пиломатериалов**

Толщина (высота), мм	Ширина			
	100	125	150	175
19	100	125	150	—
25	100	125	150	175
40	100	125	150	—
50	100	125	150	175
100	—	125	150	175
150	—	125	150	175
175	—	125	—	175

*Примечания*  
 1 Размеры фрезерованных пиломатериалов устанавливаются с учетом допусков по толщине и ширине, согласно действующим стандартам.  
 2 Для изготовления деревянных клееных элементов может быть использован другой сортамент пиломатериалов.

**Таблица А.2 – Значения частного коэффициента свойств материалов,  $\gamma_M$  [5]**

Постоянные расчетные ситуации	$\gamma_M$
Пиломатериалы по СТБ EN 14081-1	1,3
Клееная древесина по СТБ EN 14080	1,25
LVL и фанера по СТБ EN 14374, СТБ EN 14279 и СТБ EN 636	1,2

**Таблица А.2 – Значения коэффициента модификации,  $k_{mod}$  [5]**

Материал	Класс эксплуатации	Класс длительности нагрузки				
		постоянная	длительная	среднесрочная	кратковременная	мгновенная
Пиломатериалы по СТБ EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Клееная древесина по СТБ EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Древесина из клееного шпона (LVL)	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Фанера по СТБ EN 636	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б (рекомендуемое)

Некоторые характеристики свойств древесины и материалов на ее основе

**Таблица Б.1 – Прочностные и упругие характеристики пиломатериалов, их плотность и удельный вес [4]**

Наименование показателя	Значение показателя для																	
	древесины хвойных пород класса												древесины лиственных пород класса					
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Показатели прочности, Н/мм<sup>2</sup></b>																		
Изгиб $f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Растяжение вдоль волокон $f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Растяжение поперек волокон $f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Сжатие вдоль волокон $f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Сжатие поперек волокон $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Сдвиг $f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
<b>Упругие характеристики, кН/мм<sup>2</sup></b>																		
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон $E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
5 %-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Среднее значение модуля упругости поперек волокон $E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Среднее значение модуля сдвига $G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
<b>Показатель плотности, кг/м<sup>3</sup></b>																		
Плотность $\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Среднее значение плотности, $\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
<b>Объемный вес, кН/м<sup>3</sup></b>																		
Объемный вес $\gamma_k$	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,5	6,4	6,7	7,0	7,8	8,4	10,8
<b>Примечания</b>																		
1 Табличные значения распространяются на древесину с влажностью при температуре 20 °С и относительной влажностью воздуха 65 %.																		
2 Характеристические значения модуля сдвига $G_{0,05} = 0,8G_{mean}$ .																		

**Таблица Б.2 – Прочностные и упругие характеристики однородной клееной древесины из хвойных пиломатериалов, ее плотность и объемный вес по [12]**

Характеристики, Н/мм <sup>2</sup>	Обозначение	Классы прочности однородной клееной древесины						
		GL20h	GL22h	GL24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Изгиб	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Растяжение	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Сжатие	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Сдвиг	$f_{v,g,k}$	3,5						
Сдвиг при кручении	$f_{r,g,k}$	1,2						
Модуль упругости	$E_{0,g,mean}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
	$E_{0,g,0.05}$	7000	8800	9600	10100	10500	11300	11800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,0.05}$	250						
Модуль сдвига	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,0.05}$	540						
Модуль сдвига при кручении	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,0.05}$	54						
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490
Объемный вес, кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_k$	3,4	3,7	3,8	4,0	4,2	4,3	4,4

**Таблица Б.3 – Прочностные и упругие характеристики комбинированной клееной древесины из хвойных пиломатериалов, ее плотность и объемный вес по [12]**

Характеристики, Н/мм <sup>2</sup>	Обозначение	Классы прочности комбинированной клееной древесины						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL30c	GL 32c
Изгиб	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Растяжение	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Сжатие	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Сдвиг	$f_{v,g,k}$	3,5						
Сдвиг при кручении	$f_{r,g,k}$	1,2						
Модуль упругости	$E_{0,g,mean}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
	$E_{0,g,0.05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,0.05}$	250						
Модуль сдвига	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,0.05}$	540						
Модуль сдвига при кручении	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,0.05}$	54						
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440
Объемный вес, кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_k$	3,5	3,5	3,6	3,8	3,9	3,9	4,0

## Список использованных источников

1. Основы проектирования строительных конструкций : СН 2.01.01-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 90 с.
2. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки : СН 2.01.04-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 43 с.
3. Конструкции деревянные. Древесина конструкционная цельная и клееная многослойная. Определение некоторых физических и механических свойств : СТБ EN 408-2012. – Введен 01.01.2013. – Минск : Госстандарт, 2012. – 32 с.
4. Древесина конструкционная. Классы прочности : СТБ EN 338-2011. – Введен 28.10.09 2011. – Минск : Госстандарт, 2011. – 11 с.
5. Деревянные конструкции : СП 5.05.01-2021 – Введены 01.06.2021. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2021. – 115 с.
6. Найчук, А. Я. Ограждающие конструкции покрытий из древесины и плитных материалов на ее основе / А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич; под ред. А. Я. Найчука, И. Ф. Захаркевича. – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – 68 с.
7. Плиты из длинных узких ориентированных древесных стружек (OSB). Определения, классификация и технические требования : СТБ EN 300-2009.
8. Фанера. Требования : СТБ EN 636-2004. – Введен 01.07.2015. – Минск : Госстандарт, 2014. – 16 с.
9. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий : СН 2.01.02-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 41 с.
10. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 128 с.
11. Шишкин, В. Е. Примеры расчета конструкций из дерева и пластмасс : учебное пособие для техникумов / В. Е. Шишкин. – М. : Стройиздат, 1974. – 219 с.
12. Конструкции деревянные. Древесина клееная многослойная. Классы прочности и определение характеристических значений : СТБ EN 1194-2011. – Введен 01.07.2012. – Минск : Госстандарт, 2011. – 13 с.
13. Найчук, А. Я. Арки из древесины и материалов на ее основе / А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич, А.Б. Шурин; под ред. А. Я. Найчука, И. Ф. Захаркевича, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2022. – 68 с.
14. Конструкции деревянные. Крепежные детали типа штифта. Технические требования : СТБ EN 14592 – 2009. – Введен 01.01.2010. – Минск : Госстандарт, 2010. – 72 с.

Учебное издание

*Найчук Анатолий Яковлевич  
Захаркевич Иван Филиппович*

# **Деревянные стропильные системы**

Учебное пособие  
для студентов строительных специальностей и специалистов,  
занимающихся проектированием деревянных конструкций

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области строительства и архитектуры*

Ответственный за выпуск: Найчук А. Я.  
Редактор: Винник Н. С.  
Компьютерная вёрстка: Соколюк А. П.  
Корректор : Дударук С. А.

ISBN 978-985-493-627-7



9789854 936277

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.  
Подписано в печать 12.07.2024 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага «Performer». Гарнитура «Arial».

Усл. печ. л. 4,42. Уч. изд. л. 4,75. Заказ № 627. Тираж 30 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.