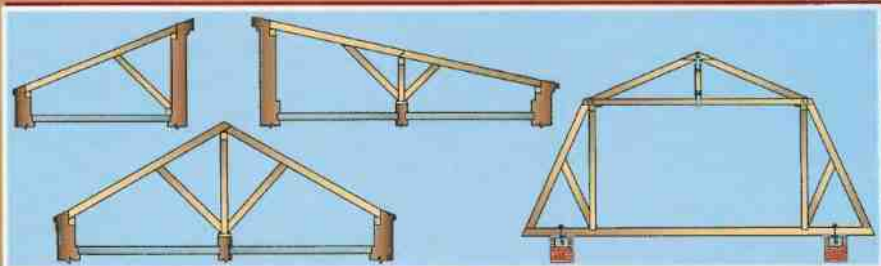


КОНСТРУКЦИИ КРЫШ СТРОПИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Савельев А.А.



- СКАТНЫЕ КРЫШИ
- РАСЧЕТ СТРОПИЛ
- УТЕПЛЕНИЕ КРЫШ
- РЕМОНТ КРЫШ



СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

А. А. САВЕЛЬЕВ

К О Н С Т Р У К Ц И И
К Р Ы Ш
СТРОПИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Москва
Аделант
2009

УДК 624.15
ББК 34.64

«Конструкции крыш. Стропильные системы»
000 «ИЗДАТЕЛЬСТВО АДЕЛАНТ», 2009 г., 120 стр.

ISBN 978-5-93642-189-1

Форма и стиль крыши в значительной степени определяют весь облик дома.

Конструкции крыш могут быть самыми различными, но по форме они делятся на два основных типа – крыши плоские и крыши скатные.

Настоящая книга посвящена именно скатным крышам. Автор дает исчерпывающую информацию о конструктивных схемах этих крыш, предлагает типовые примеры расчетов строительных конструкций, отдельных узлов и сопряжений.

Доступная форма изложения в сочетании с богатым иллюстративным материалом будут способствовать успешному усвоению материала книги.

Автор: Савельев А. А.

Редакторы: Рубайло В. Е., Рубайло М. В.

Компьютерная верстка: Савельев А. А., Рубайло М. В.

Ответственный за выпуск: Яценко В. А.

Подписано в печать 28.08.2009 г.

Формат 84×108/16.

Бумага офсетная.

Печать офсетная.

Тираж 20000 экз. (1-й завод — 5000 экз.)

Заказ № 418

Отпечатано в типографии ООО «Самарский дом печати»
443052, г. Самара, пр. Кирова, 24.

Качество печати соответствует качеству предоставленных носителей.

Охраняется Законом РФ об авторском праве. Воспроизведение всей книги или любой ее части запрещается без письменного разрешения издательства. Любые попытки нарушения закона будут преследоваться в судебном порядке.

ISBN 978-5-93642-189-1

© ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «АДЕЛАНТ»

Издательство «Аделант»

приглашает к сотрудничеству авторов, дилеров и оптовых покупателей.

По вопросам оптовой закупки книг и
с предложениями обращаться по телефонам:

(495) 673-23-20; 995-20-04; 995-50-27

E-mail: adelantinfo@mtu-net.ru

<http://www.adelant-book.ru>

КЛАССИФИКАЦИЯ КРЫШ

Крыша — это верхняя ограждающая конструкция здания, одновременно осуществляющая несущие, гидроизолирующие, а при бесчердачных (совмещенных) крышах и теплых чердаках, еще и теплоизолирующие функции. Крыша должна выдерживать собственный вес, ветровые и снеговые нагрузки, соответствовать противопожарным нормам и нести декоративную миссию. Крыши устраивают чердачные и бесчердачные. В бесчердачных крышах последняя выполняет одновременно и роль чердачного перекрытия; в этом случае крышу называют покрытием, или совмещенной крышей. Крыша бывает утепленная или холодная.

Кровля — верхний элемент крыши, защищающий здание от внешних воздействий: дождя, снега, мороза, солнечной радиации, пыли, вредных веществ.

Чердак — это пространство между поверхностью крыши, наружными стенами и перекрытием верхнего этажа. Он защищает дом от холода, обеспечивает вентиляцию и проветривание конструктивных элементов крыши. Чердачные крыши для большинства зданий выполняют холодными. Холодная крыша защищает здание только от атмосферных осадков; теплозащита помещений верхнего этажа обеспечивается (в случае необходимости) чердачным перекрытием. Бесчердачные крыши могут быть холодными (над неотапливаемыми строениями) и теплыми (над отапливаемыми зданиями). Чердак значительно повышает надежность и долговечность крыши, однако увеличивает стоимость здания по сравнению с домом, имеющим мансарду.

Мансарда — жилое отапливаемое (или неотапливаемое) помещение в чердачном пространстве, фасад которого полностью или частично образован поверхностью (поверхностями) наклонной или ломаной крыши. Внутреннее пространство дома при этом используется максимально, отчего стоимость здания уменьшается.

По форме крыши делятся на плоские и скатные (рис. 1).

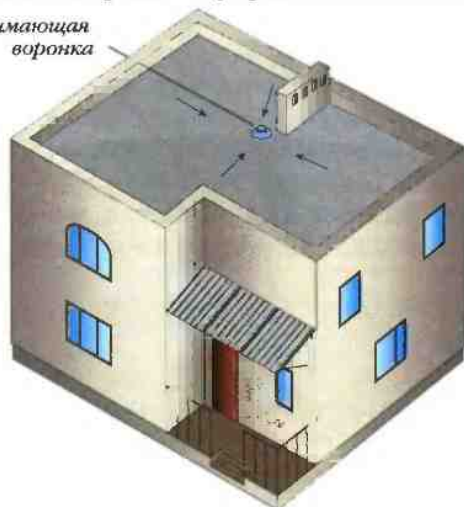
Плоские крыши делают с уклоном менее 2,5%. До недавнего времени такие крыши широко применялись только в строительстве многоэтажных жилых и общественных зданий, в зданиях производственного и сельскохозяйственного назначения, сейчас такие крыши все чаще проектируются и для коттеджных построек.

Плоские крыши могут быть как чердачными, так и бесчердачными. В бесчердачных крышах применяют так называемую совмещенную кровлю, в которой чередуются гидро- и пароизоляционные слои и слой утеплителя. В чердачных плоских крышах эти слои разделены: утеплитель и пароизоляция делаются по перекрытию верхнего этажа, а гидроизоляционный слой по покрытию крыши. Чердачное помещение крыши служит техническим этажом для разводки коммуникаций и вентилирования чердачного пространства, что благотворно сказывается на микроклимате помещений верхнего жилого этажа. Применение плоских крыш делает возможным поэтапное строительство, то есть со временем можно «нарастить» здание еще одним этажом или сделать на нем мансардную либо чердачную скатную крышу.

Бесчердачная плоская крыша дешевле скатной. При равной площади здания площадь плоской кровли меньше площади кровли скатной, поэтому кровельные материалы, пошедшие на плоскую кровлю дешевле даже просто за счет сокращения метража. Строительство плоской крыши не требует навыков промышленного альпинизма, поэтому можно говорить об упрощении кровельных работ. Обслуживание плоской крыши, профилактические осмотры, очистка водостоков, работа с антеннами, дымоходами, вентиляционными каналами и самим настилом значительно проще, чем на скатных крышах. На плоской крыше удобно монтировать разнообразное оборудование, в том числе, например, спутниковые антенны или наружные блоки кондиционеров, которые в случае скатной крыши размещаются на фасадах. Можно использовать плоскую крышу в качестве эксплуатируемой: устройство зимних садов, газонов и садов на открытом грунте, игровых площадок и т. д., вплоть до вертолетных площадок.

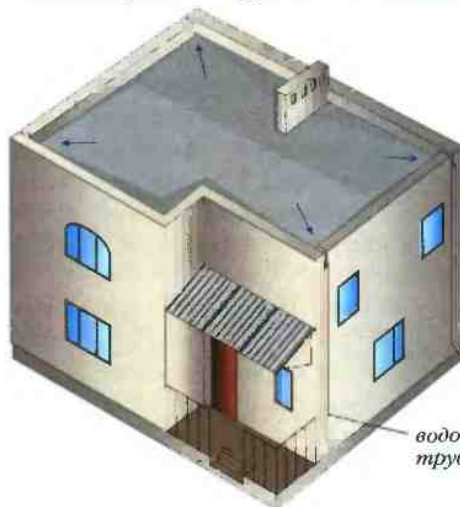
плоская крыша с внутренним водостоком

принимающая воронка



плоская крыша с наружным водостоком

водосточная труба



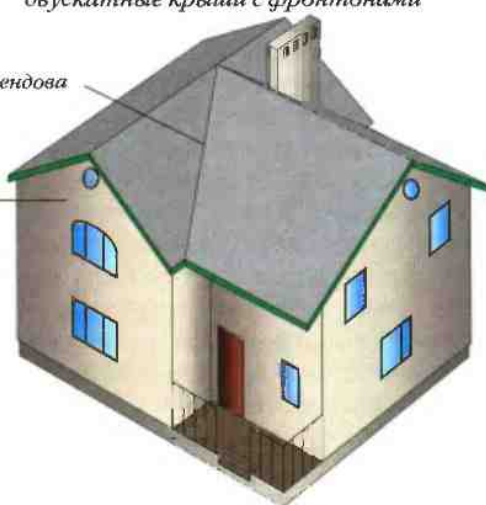
односкатные крыши



двускатные крыши с фронтонами

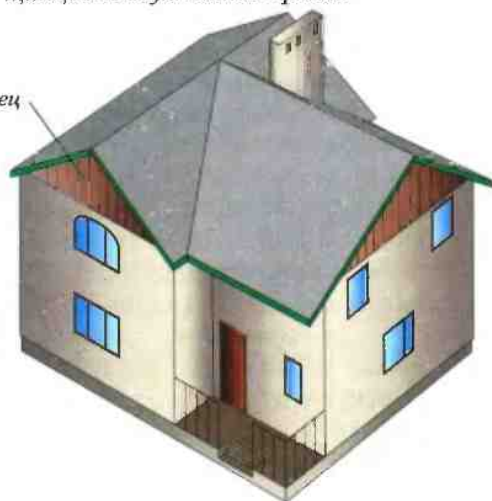
ендова

фронтон



щипцовые двускатные крыши

щипец



вальмовые крыши

вальма

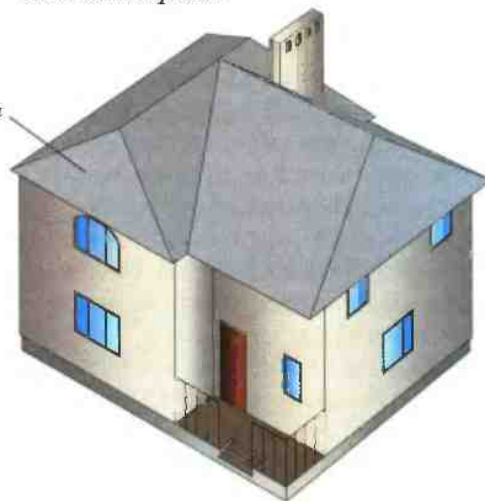


Рис. 1. Формы крыши (начало)

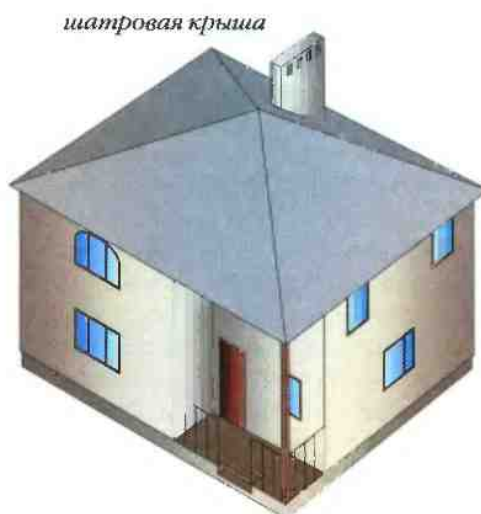


Рис. 1. Формы крыши (окончание)

Примечание: в зависимости от формы крыши меняется весь облик здания, при этом внутренняя планировка не меняется или меняется незначительно

Плоская крыша испытывает большие снеговые нагрузки, чем скатная. Поскольку в ней отсутствует стропильная система, эта нагрузка передается сразу на перекрытие, что предъявляет к нему повышенные требования по несущей способности. Перекрытие домов с плоскими крышами это, чаще всего, сборные или монолитные железобетонные конструкции, в отличие от крыш скатных, где перекрытие может быть деревянным. А с другой стороны, отсутствие в крыше стропильной системы лишает ее парусности от воздействия ветровых нагрузок.

Скатные крыши имеют уклон более 2,5%, они подразделяются на:

- односкатную, опирающуюся на две наружные стены разной высоты. Чаще всего ее устраивают на вспомогательных зданиях и сооружениях простой конструкции. Скат крыши желательно обращать к наветренной стороне, защищая тем самым здание от ветра, дождя и снега. Эти крыши экономичные и удобные, они позволяют максимально использовать внутреннее пространство здания и могут служить потолком в хозяйственных постройках (гаражах, сараях, банях и т. д.);

— двускатную, опирающуюся на две наружные стены равной высоты. Она состоит из двух скатов, направленных в противоположные стороны. Треугольные торцовые стены, образующиеся при этой форме, называются щипцами (фронтонами). Отсюда еще одно название этих крыш — щипцовые. Они являются самой распространенной классической конструкцией крыши. К многочисленным вариантам этого типа крыш относят крыши с неравномерными углами наклона скатов или же разным размером свеса стропил;

— вальмовую, или четырехскатную крышу с треугольными скатами (вальмами) по торцовым сторонам. Если вальма не доходит до карниза, крыша называется полувальмовой. Вальмовая крыша лучше, чем все остальные, выдерживает ветровые нагрузки, но она трудоемка, и ее строительство требует определенных профессиональных навыков;

— шатровую, четыре ската которой выполнены в виде одинаковых треугольников, сходящихся в одной точке. Применяется на зданиях, имеющих квадратную планировку;

— ломаную (мансардную), двускатную, каждая плоскость которой представляет два прямоугольника, соединенных между собой под тупым углом. Эти крыши устраивают при необходимости более полного использования площади чердачного помещения.

СКАТНЫЕ КРЫШИ

Форма скатных крыш, чаще всего, образуется стропильной системой крыши. Стропило или стропильная нога — это деревянная или металлическая балка, основной несущий элемент крыши. В зависимости от способа укладки и условий работы, стропила подразделяют на наслонные и висячие (рис. 2).

Наслонные стропила получили свое название от слова настелить («наслать»). Их концы опираются на стены разной высоты — балки раскладывают на стенах с определенным расстоянием (шагом) между собой — либо, например, в двускатных крышах, один конец стропила лежит на внешней, а другой на внутренней стене или на специальной несущей конструкции, сделанной по этой стене. Стропильные ноги, установленные в распор (низом опертые врубкой в мауэрлат, а верхом друг в друга), передают на стены горизонтальную нагрузку от веса крыши и снега. Для нейтрализации распора мауэрлат, уложенный на стенах, жестко закрепляется. Стропила, не упирающиеся в мауэрлат и друг в друга — безраспорная конструкция, в которой крепление мауэрлата производится конструктивно.

Висячие стропила не имеют опоры в средней части здания, одним концом они опираются на наружную стену, а другим, верхним концом — в верх противоположной стропильной ноги. Поскольку верхними концами висячие стропила упираются друг в друга, они распирают стены. Для нейтрализации распора в нижней части висячих стропил устанавливают дополнительный элемент — затяжку. Таким образом, висячие стропила образуют треугольник, нижний элемент которого работает на растяжение и нейтрализует распор, а на стены передается только вертикальное напряжение от веса крыши и снега.

Форма скатных крыш не всегда определяется стропильной системой. Скаты крыш можно образовывать фронтонами стен и использованием слег. Слега — несущий элемент крыши — балка, уложенная параллельно верху стен. Такие крыши называются бесстропильными, а несущие фронтоны стен — самцами. Бесстропильные крыши, чаще всего, применяются в деревянном рубленном домостроении. Однако замена материала слег с дерева на металл позволяет их использование в домах со стенами из мелкоштучных материалов.

Перечисленные здесь виды скатных крыш: с наслонными и висячими стропилами или бесстропильные системы, представлены, так сказать, в «чистом» виде. На практике, все они могут быть выполнены на крыше одного дома с использованием отдельных конструктивных элементов. Например, скаты крыши могут сформированы фронтонами стен, на которые будет опираться один конец слег, а другой их конец может быть уложен на несущую ферму из висячих или наслонных стропил.

В зданиях, стены которых сделаны из кирпича, бетона, пеноблоков или других влагостойких материалов, пятка стропильных ног опирается на стены через деревянную балку,

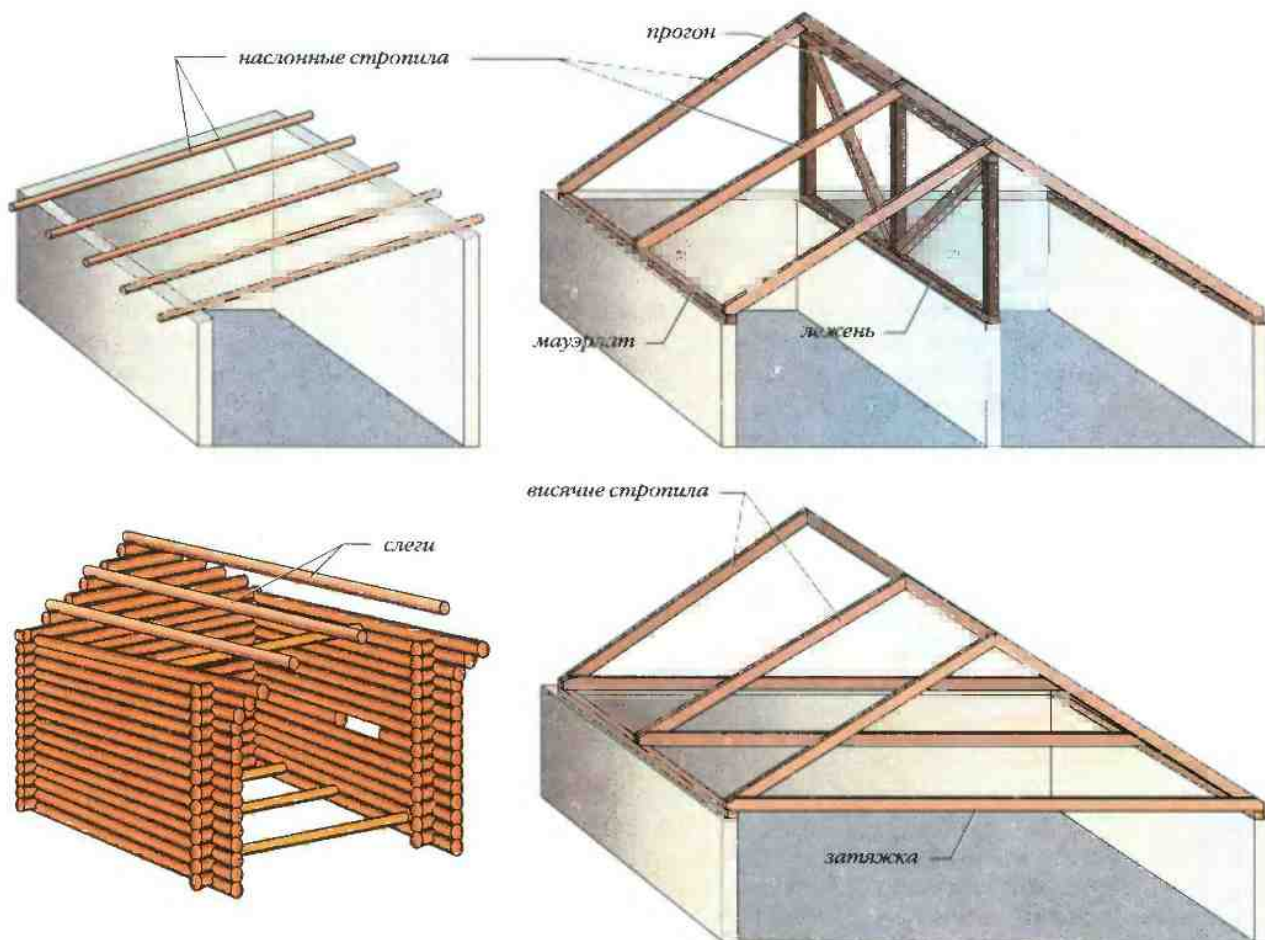


Рис. 2. Схемы стропильных и бесстропильных скатных крыш

называемую мауэрлатом. А он, в свою очередь, отделяется от стены слоем рулонной гидроизоляции из рубероида, гидроизола или других подобных материалов. Для вентилирования подкрышного пространства и профилактики загнивания стропил и мауэрлата, а также для осмотра и возможного ремонта, верх мауэрлата устанавливают на стены на высоте не менее 300 мм и не более 500 мм от перекрытия. В домах с бревенчатыми или брусчатыми стенами стропила соединяются врубками или скобами с переводами (балками), врубленными между последним и предпоследним венцом сруба.

В конструкциях крыш с наклонными стропилами под опирание верха стропил часто выполняют различные несущие деревянные конструкции: стойки или фермы. Под них, как и под мауэрлат, тоже делается гидроизоляция и укладывается деревянная балка, которую, в этом случае, называют лежнем. И мауэрлат, и лежень монтируются в горизонт, но они могут быть уложены на разных высотах. Низ лежня делают на высоте не более 400 мм от верха перекрытия.

Нагрузки, действующие на несущую конструкцию скатных крыш

На прочность и долговечность конструкций крыш существенное влияние оказывают снег, ветер, дождь, перепады температуры и другие физико-механические факторы, воздействующие на здание.

Снег. В силу своих географических особенностей практически вся территория России в холодный период года засыпана снегом. Точную нагрузку от веса снегового покрова,

требуемую для расчета несущей способности стропильных систем в конкретном месте строительства, нужно выяснить в районных строительных организациях или установить по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия», а конкретно, по картам, вложенным в «Изменения к СНиП 2.01.07-85». Необходимо обратить ваше внимание на то, что изменения к СНиПу вступили в силу с 2008 г. и в них переизданы ряд карт, в том числе и карта районирования снегового покрова. «Изменения», это практически новый СНиП, заменяющий СНиП 1985 года. В новой редакции СНиП границы районирования не совпадают со старой картой, а расчет нагрузки от веса снегового покрова гармонизирован со структурой Европейских норм.

На рисунках 3–6 приведены копии карт измененного СНиПа, но масштаб книги не дает возможности полной их детализации, поэтому нагрузку от веса снегового покрова и давления ветра, особенно на границах зон районирования, лучше определять по оригиналу «Изменения к СНиПу 2.01.07-85».

На рис. 3 приведены нагрузки от веса снегового покрова для расчета по второму предельному состоянию. Если необходимо рассчитывать несущие элементы конструкций по первому предельному состоянию (на разрушение), то они должны быть разделены на коэффициент 0,7 (табл. 1).

Расчетный вес снегового покрова Q_g на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли Таблица 1

Снеговые районы Российской Федерации	1	2	3	4	5	6	7	8
Q_g , кПа (кг/м ²)	0,8 (80)	1,2 (120)	1,8 (180)	2,4 (240)	3,2 (320)	4,0 (400)	4,8 (480)	5,6 (560)

Расчет несущих конструкций зданий и сооружений выполняют по методу предельных состояний, при которых конструкции теряют способность сопротивляться внешним воздействиям, либо получают недопустимые деформации или местные повреждения.

Предельных состояний, по которым производится расчет, может быть три:

— первое предельное состояние достигается в том случае, когда в строительной конструкции исчерпана несущая способность (прочность, устойчивость, выносливость), а попросту, происходит разрушение конструкции. Расчет несущих конструкций ведется на максимально возможные нагрузки;

— второе предельное состояние характеризуется развитием чрезмерных деформаций от статических или динамических нагрузок: в конструкции происходят недопустимые прогибы, раскрываются узлы сочленений. Однако в целом конструкция не разрушается, но дальнейшая ее эксплуатация без ремонта невозможна;

— третье предельное состояние достигается с образованием или раскрытием трещин или других местных повреждений, влияющих на несущую способность строительной конструкции.

Для снеговых нагрузок, действующих на крышу, несущий каркас крыши рассчитывается по первому состоянию — на полный вес снегового покрова Q_g . По второму предельному состоянию — $0,7 \times Q_g$. По третьему — $0,5 \times Q_g$.

Обычно расчет стропильной системы скатных крыш ведется на нагрузки, допускающие второе предельное состояние. Другими словами, если мы рассчитаем сечение стропил на полную снеговую нагрузку, взятую из таблицы 1, то получим самые мощные стропила, которые увеличат материалоемкость крыши и ее вес. Однако такой нагрузки от веса снега может никогда и не будет за весь период эксплуатации крыши. Рассчитывая конструкции по второму предельному состоянию, мы получим более слабые стропила, уменьшим вес крыши и ее стоимость, то есть оптимизируем баланс «цена — качество». Такая крыша простоит весь срок эксплуатации, но если вдруг снега выпадет максимальное коли-

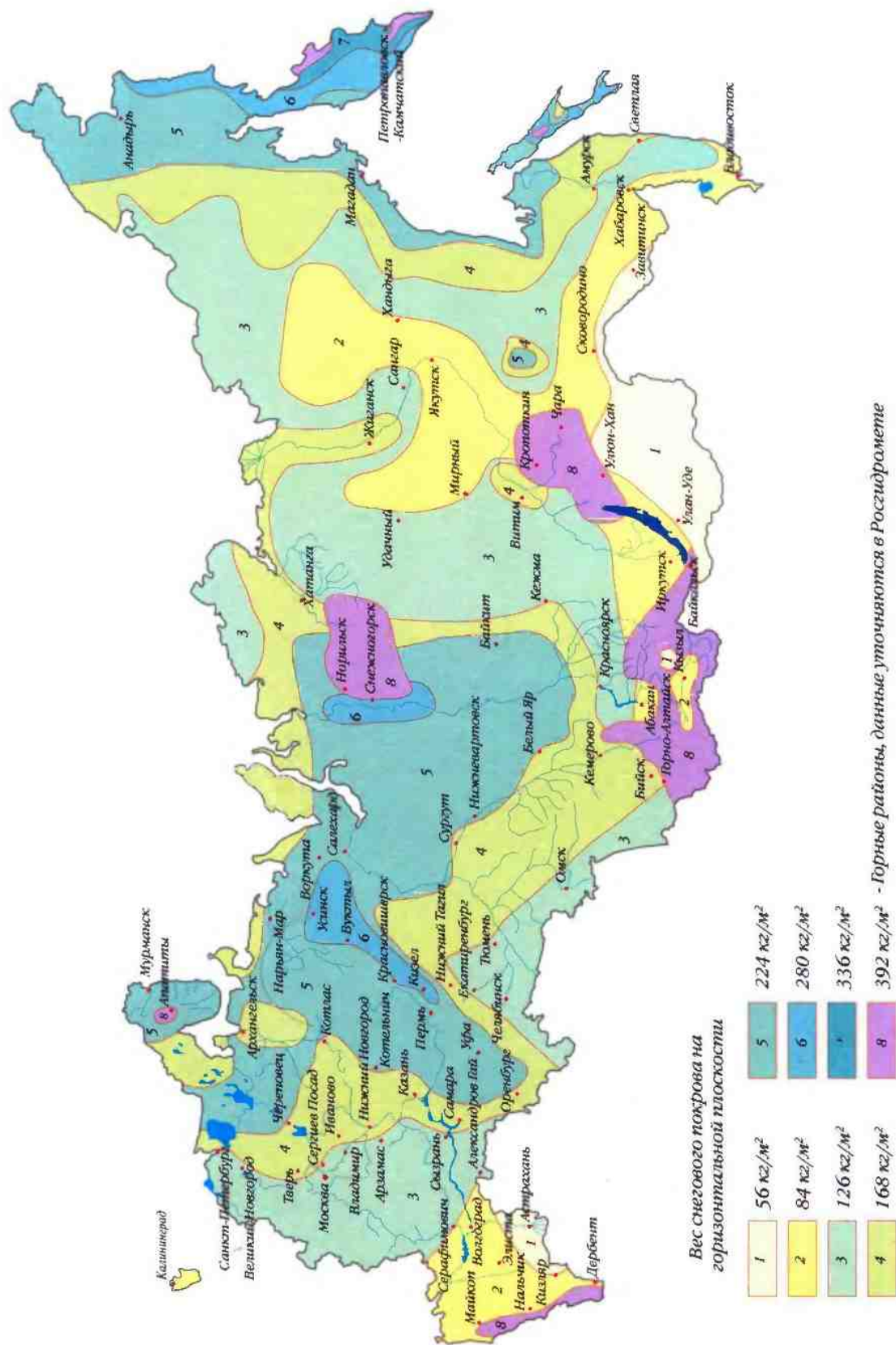


Рис. 3. Районирование территории Российской Федерации по расчетному значению веса снегового покрова. Примечание: нагрузки от веса снегового покрова указаны с понижающим коэффициентом 0,7 для расчета конструкций по второму предельному состоянию

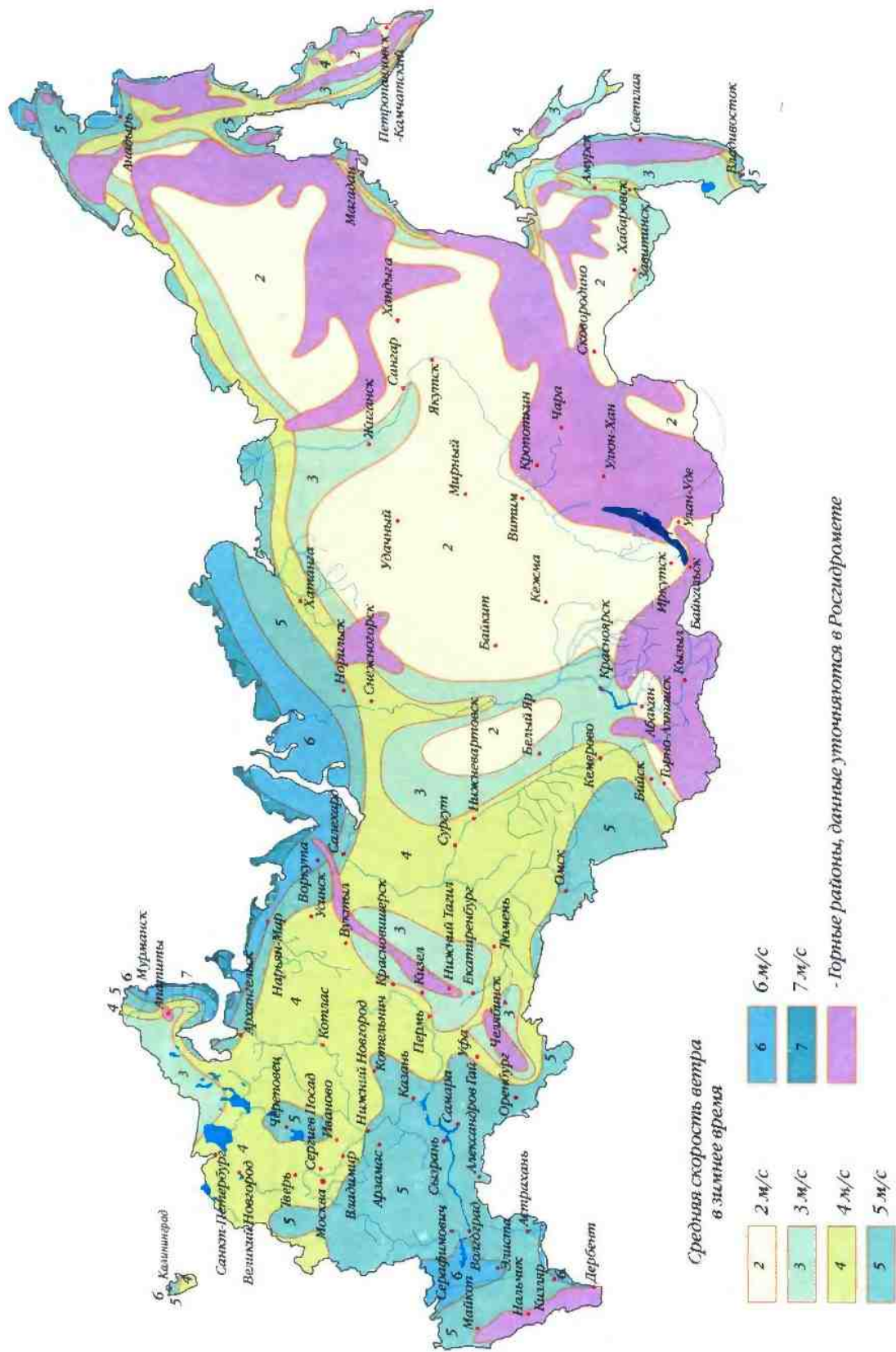


Рис. 4. Районирование территории Российской Федерации по средней скорости ветра, м/с, за зимний период

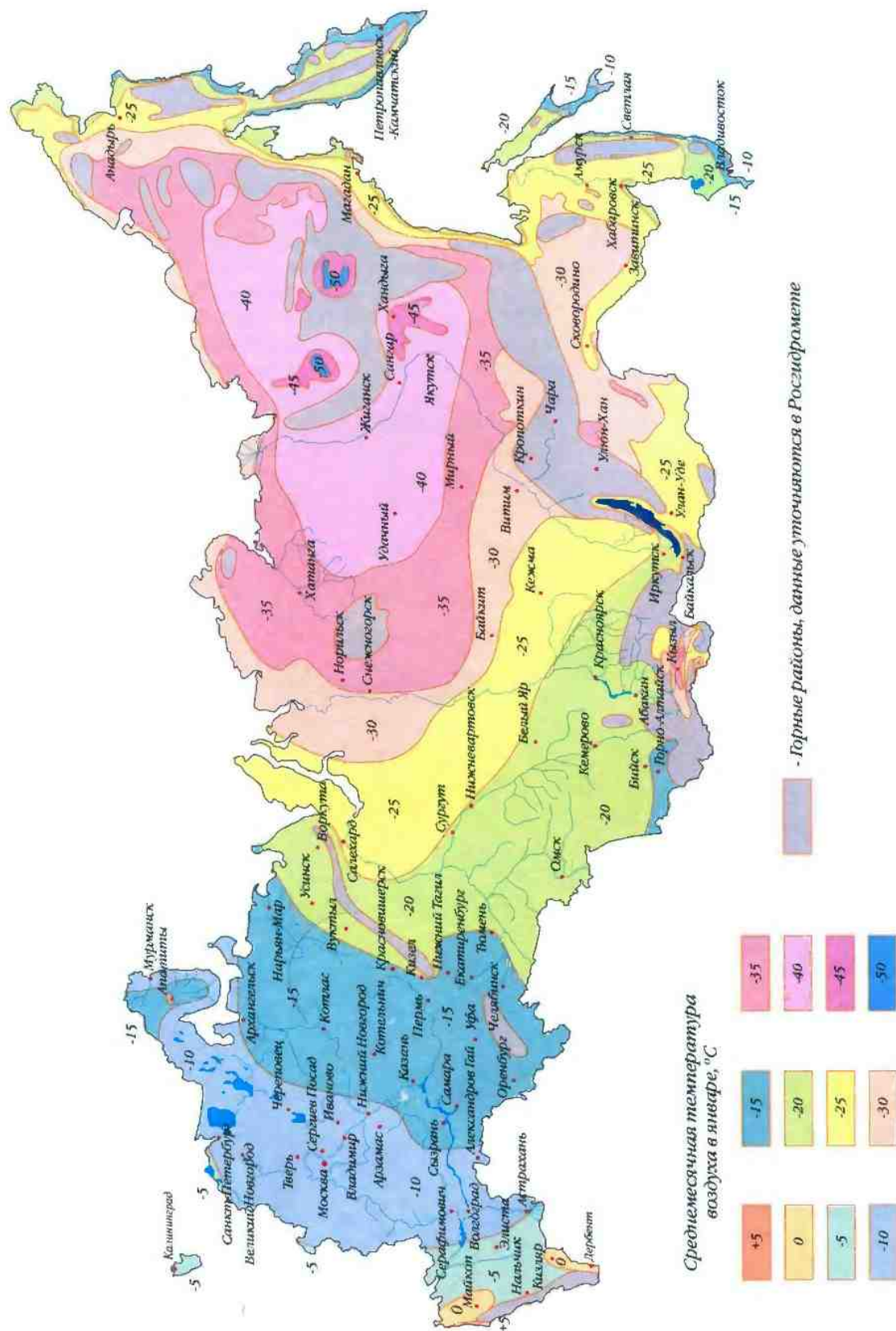


Рис. 5. Районирование территории Российской Федерации по средней месячной температуре воздуха, °С, в январе

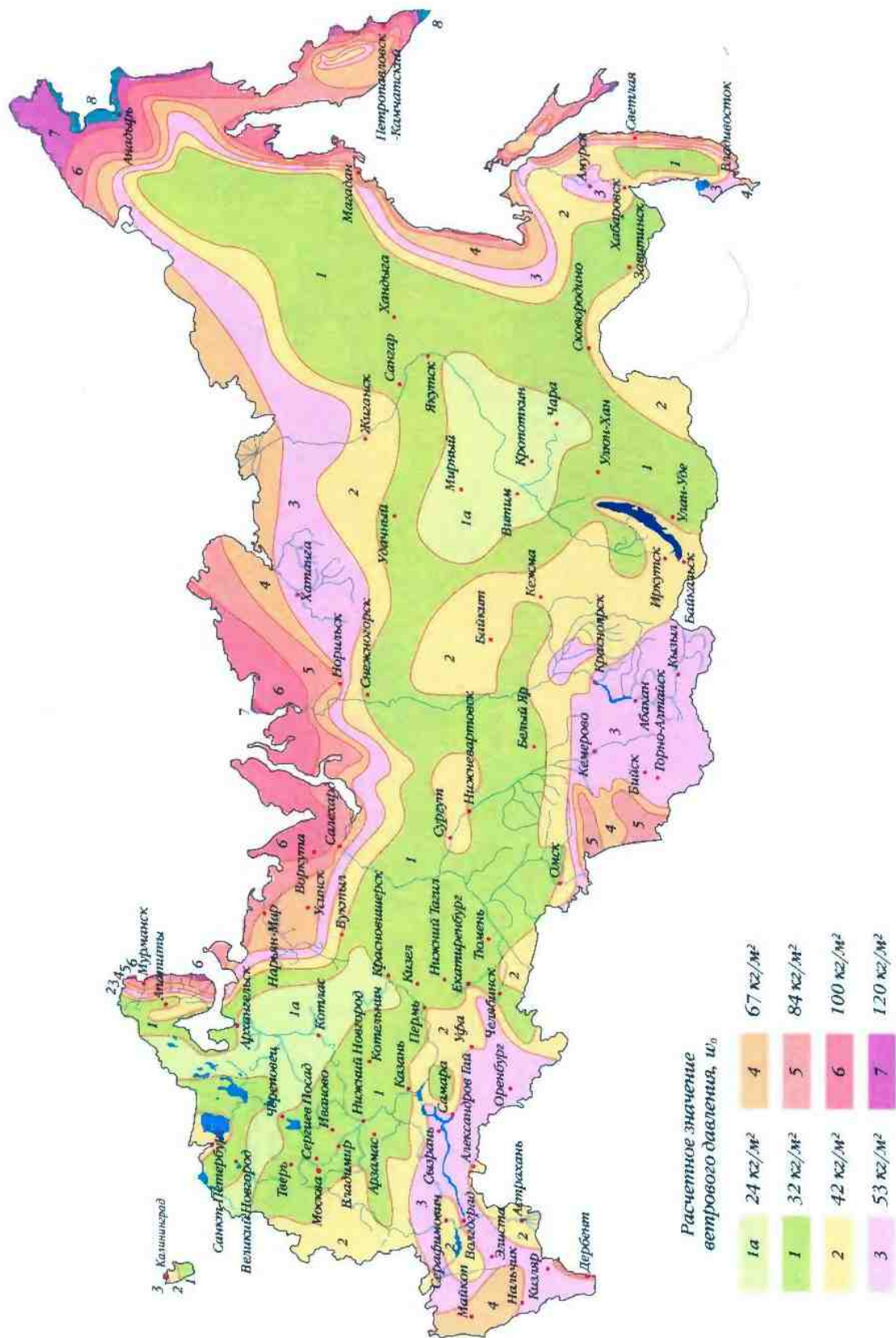


Рис. 6. Районирование территории Российской Федерации по расчетному значению давления ветра

чество, крыша может разрушиться. Вероятность такого исхода, хотя и присутствует, но очень мала. Расчет по третьему предельному состоянию, на половинные нагрузки, производится только для временок. За те несколько лет, пока стоит временка, снег вряд ли выпадет в максимальном количестве. Если же это произойдет, то крыша временки, скорее всего, будет разрушена.

В зависимости от уклона крыши и направления преобладающих ветров снега на крыше может быть значительно меньше и, как ни странно, больше, чем на плоской поверхности земли. При возникновении в атмосфере таких явлений, как снежный буран или метель, снежинки, подхваченные ветром, переносятся на подветренную сторону. После прохождения препятствия в виде конька крыши скорость движения нижних потоков воздуха снижается по отношению к верхним и снежинки оседают на крышу. В результате, с одной стороны крыши снега лежит меньше нормы, а с другой больше (рис. 7).

Снижение и увеличение снеговых нагрузок, зависящих от направления ветра и угла наклона скатов, учитываются коэффициентом μ . На крышах с углом скатов до 30° с наветренной стороны будет лежать 75%, а с подветренной 125% от того количества снега, который лежит на плоской поверхности земли, а коэффициент μ равен 1. Значение коэффициента μ приведено в СНиП 2.01.07-85 и на рисунке 8.

Толстый слой снега, скапливающийся на крыше и превышающий средненормативную толщину, называется снеговым «мешком». Они скапливаются в ендовах — местах, где пересекаются две крыши и в местах с близко расположенными слуховыми окнами. Во всех местах, где высока вероятность возникновения снегового «мешка», ставят спаренные стропильные ноги и выполняют сплошную обрешетку. Также здесь делают подложку из оцинкованной стали вне зависимости от материала основного покрытия.

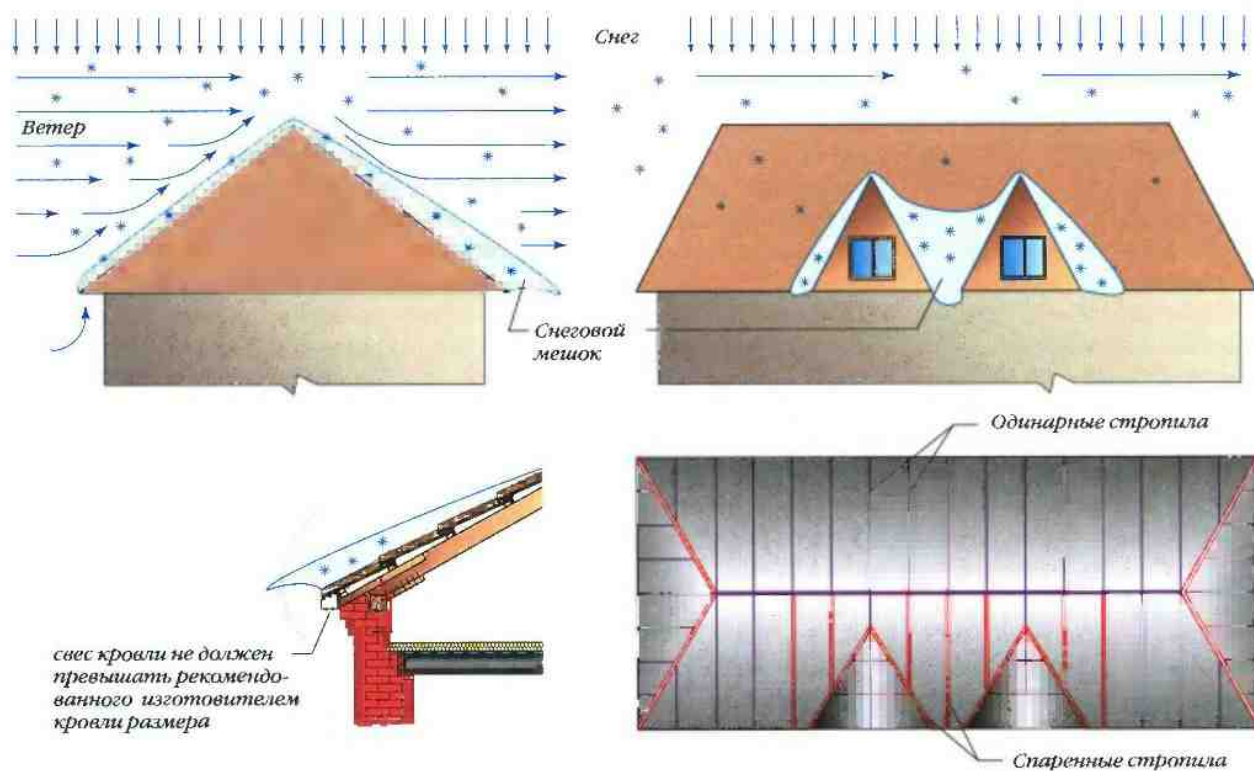


Рис. 7. Образование снеговых «мешков» на крышах с уклонами скатов от 20° до 30°

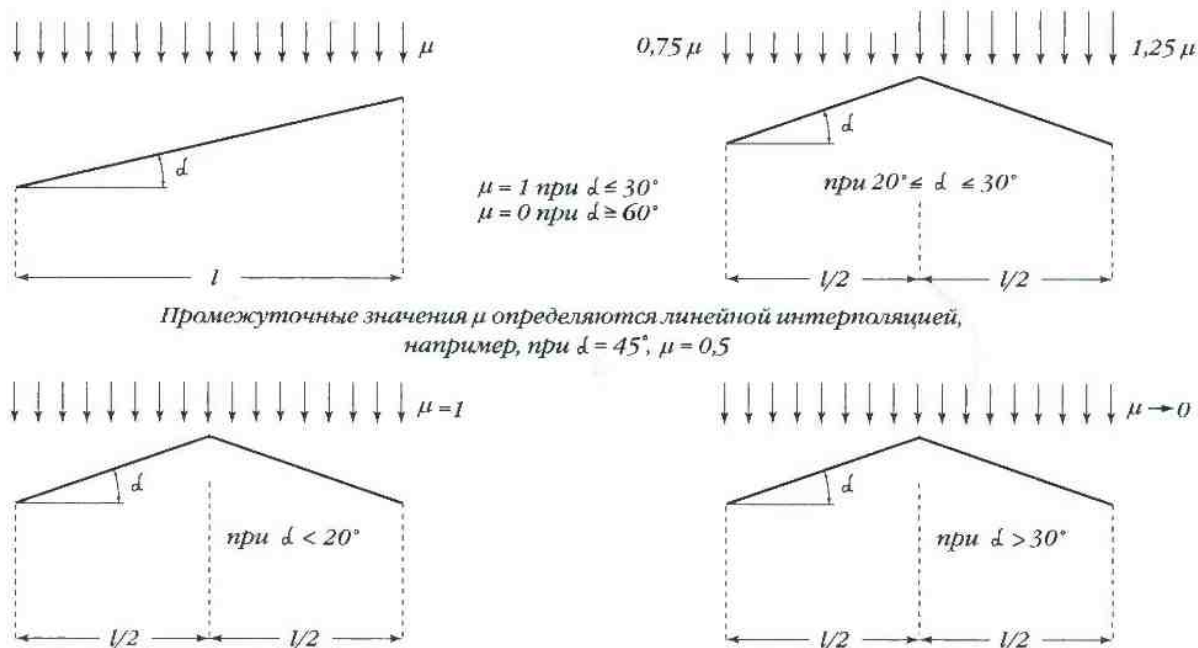


Рис. 8. Схемы снеговых нагрузок и коэффициенты μ

Снеговой «мешок», образуемый с подветренной стороны, постепенно сползает и давит на свес кровли, пытаясь обломить его, поэтому свес кровли не должен превышать размеры, рекомендуемые изготовителем кровельного покрытия. Например, для обычной шиферной кровли его принимают равным 10 см.

Направление преобладающего ветра определяется по розе ветров для данного региона строительства. Таким образом, после проведения расчета с наветренной стороны будут установлены одиночные стропила, с подветренной — спаренные. Если данные по розе ветров отсутствуют, для расчета нужно выбрать максимальную нагрузку, словно все скаты крыши находятся с подветренной стороны и на них лежит снега больше, чем на земле.

С увеличением угла наклонов скатов снега на крыше остается меньше, он сползает под собственным весом. При углах скатов, равных или больше 60° , снега на крыше совсем не остается. Коэффициент μ в этом случае равен нулю. Для промежуточных значений углов скатов μ находится методом прямой интерполяции (усреднением). Так, например, для скатов с углом наклона 40° коэффициент μ будет равен 0,66, для 45° — 0,5, а для 50° — 0,33.

Таким образом, расчетная нагрузка (Q), требуемая для подбора сечения стропил и шага их установки, рассчитывается как произведение нормативной нагрузки (Q_g) (взятой по карте — рис. 3 или таблице 1) и коэффициента μ (рис. 8):

$$Q = Q_g \times \mu$$

В регионах строительства, где средняя скорость ветра трех зимних месяцев превышает 4 м/с, на пологих крышах с уклоном от 12 до 20% (примерно от 7 до 12°), обычно крыши с такими уклонами проектируются для гаражей, происходит частичный снос снега с крыши. В этом случае расчетная величина нагрузки от веса снега должна быть уменьшена применением коэффициента $c_e = 0,85$. Во всех других случаях, для скатных крыш применяется коэффициент $c_e = 1$. Окончательная формула определения расчетной нагрузки на крышу будет выглядеть так:

$$Q = Q_g \times \mu \times c_e$$

Снижение снеговой нагрузки $c_e = 0,85$ не распространяется: на крыши зданий в райо-

нах со среднемесячной температурой воздуха в январе выше -5°C , так как периодически образующаяся наледь препятствует сносу снега ветром; на крыши зданий, защищенных от прямого воздействия ветра соседними более высокими зданиями или лесом, удаленными менее чем на $10 \times h$, где h — разность высот соседнего и проектируемого зданий;

Скорость ветра и среднесуточная температура января определяется по картам «Изменения к СНиП 2.01.07-85» (рис. 4 и 5).

Ветер. При боковом давлении ветра воздушный поток сталкивается со стеной и крышей здания (рис. 9). У стены дома происходит завихрение потока, часть его уходит вниз к фундаменту, другая по касательной к стене ударяет в карнизный свес крыши. Ветровой поток, атакующий скат крыши, огибает по касательной конек кровли, захватывает спокойные молекулы воздуха с подветренной стороны и устремляется прочь. Таким образом, на крыше возникают сразу три силы, способные сорвать ее и опрокинуть — две касательные с наветренной стороны и подъемная сила, образующаяся от разности давлений воздуха, с подветренной стороны. Еще одна сила, возникающая от давления ветра, действует перпендикулярно склону (нормаль) и старается вдавить скат крыши внутрь и сломать его. В зависимости от крутизны скатов нормальные и касательные силы изменяют свое значение. Чем больше угол наклона ската кровли, тем большее значение принимают нормальные силы и меньшее касательные, и наоборот, на пологих крышах большие значения принимают касательные, увеличивая подъемную силу с подветренной и уменьшая нормальную с наветренной стороны.

Расчетное значение средней составляющей ветровой нагрузки w в зависимости от высоты z над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$W = W_0 \times k \times z \times c,$$

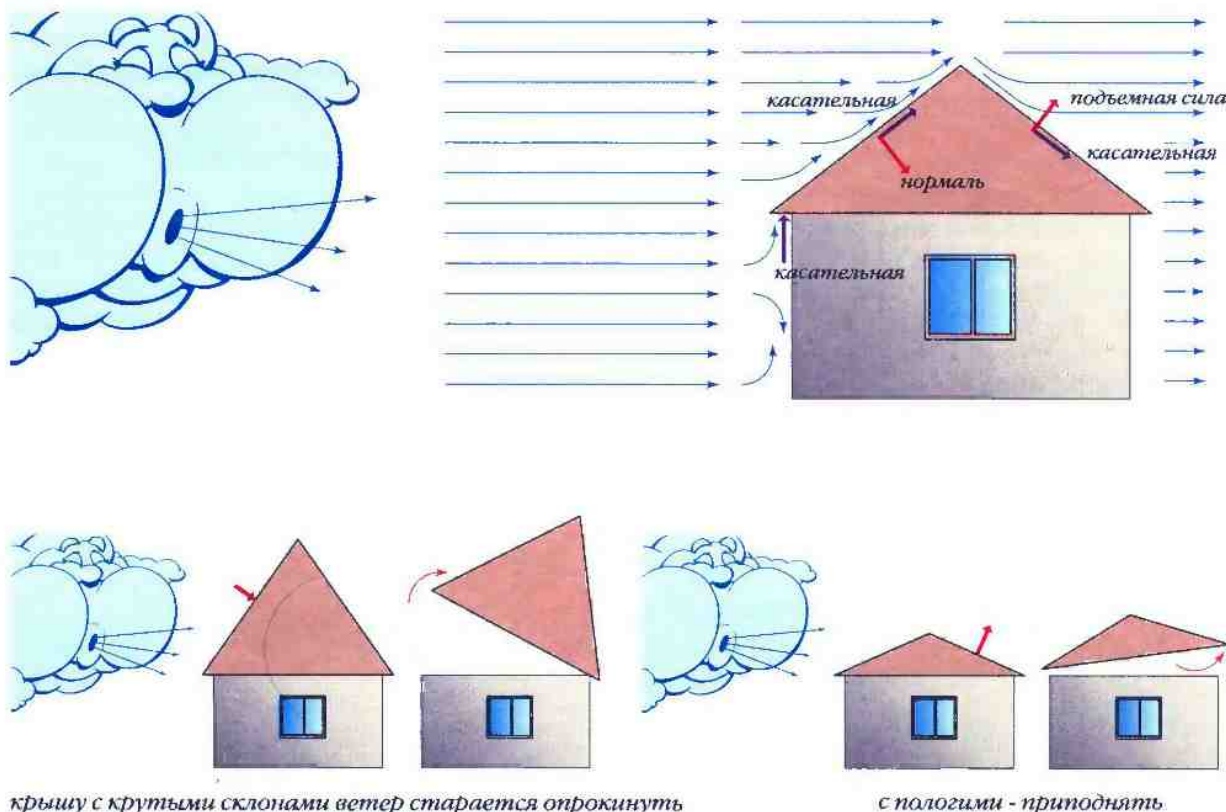


Рис. 9. Ветровые нагрузки, возникающие от давления воздушных масс (ветра)

где W_0 — расчетное значение ветрового давления, определяется по карте приложения в «Изменениях к СНиП 2.01.07-85» (рис. 6); k — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z , определяется по таблице 2; c — аэродинамический коэффициент, учитывающий изменение направления давления нормальных сил в зависимости

Коэффициент k для типов местности

Таблица 2

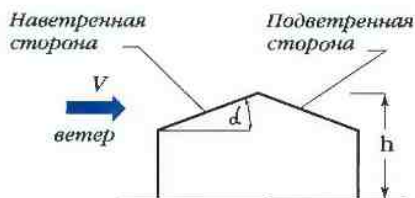
Высота z , м	А	Б	В
не более 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55

Типы местности:

А — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

Б — городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

В — городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м

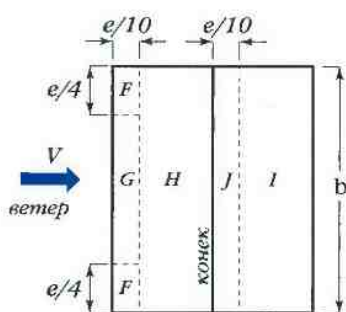


Коэффициенты (C) для двускатных покрытий:

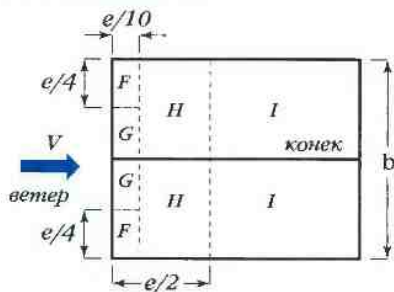
Таблица 3

При ветре в скат крыши

Уклон α	F	G	H	I	J
15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
	0,2	0,2	0,2		
30°	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	0,7	0,7	0,4		
45°	0,7	0,7	0,6	-0,2	-0,3
60°	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3



e выбирается по наименьшему значению из b или $2h$



При ветре во фронтон

Таблица 4

Уклон α	F	G	H	I
0°	-1,8	-1,3	-0,7	-0,5
15°	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
30°	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
45°	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
60°	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
75°	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5

Рис. 10. Значения аэродинамических коэффициентов

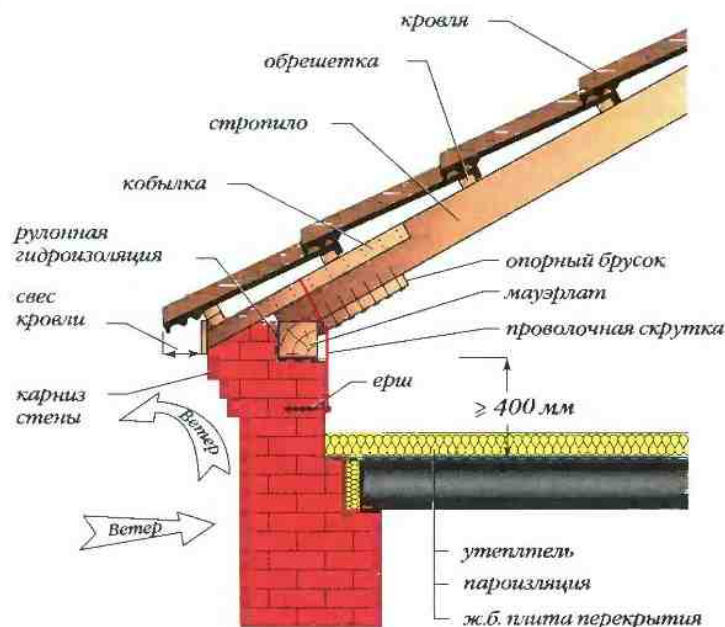


Рис. 11. Пример решения карнизного узла

проволоочной скруткой к ершу, забитому в стену (рис. 11). Ерш — это металлический штырь с насечкой против выдергивания, который изготавливают кузнечным способом. Поскольку достоверно неизвестно с какой стороны будет дуть сильный ветер, стропила прикручивают по всему периметру здания через одно, начиная с крайних, — в районах с умеренными ветрами и каждое — в районах с сильными ветрами. В некоторых случаях этот узел может быть упрощен: ерш не устанавливается, а проволока с выпущенными концами закладывается в кладку стен в период их возведения. Такое решение допустимо, если оба конца проволоки выпускается внутрь чердака и не портят внешний вид фасада здания.

Скрутками крепятся низ стропильных ног, а не мауэрлат! Как это, к сожалению, часто делают. Обычно для крепления стропил используется стальная предварительно отожженная (мягкая) проволока диаметром от 4 до 8 мм.

ти от того с какой стороны находится скат по отношению к ветру, с подветренной или наветренной стороны (рис 10).

Знак «плюс» у аэродинамических коэффициентов определяет направление давления ветра на соответствующую поверхность (активное давление), знак «минус» — от поверхности (отсос). Промежуточные значения нагрузок следует находить линейной интерполяцией. При затруднении в использовании таблиц 3 и 4, изображенных на рисунке 10, нужно выбирать наибольшие значения коэффициентов для соответствующих углов наклона скатов крыш.

Крутые крыши ветер старается опрокинуть, а пологие — сорвать и унести. Для того чтобы этого не произошло нижний конец стропильных ног крепят

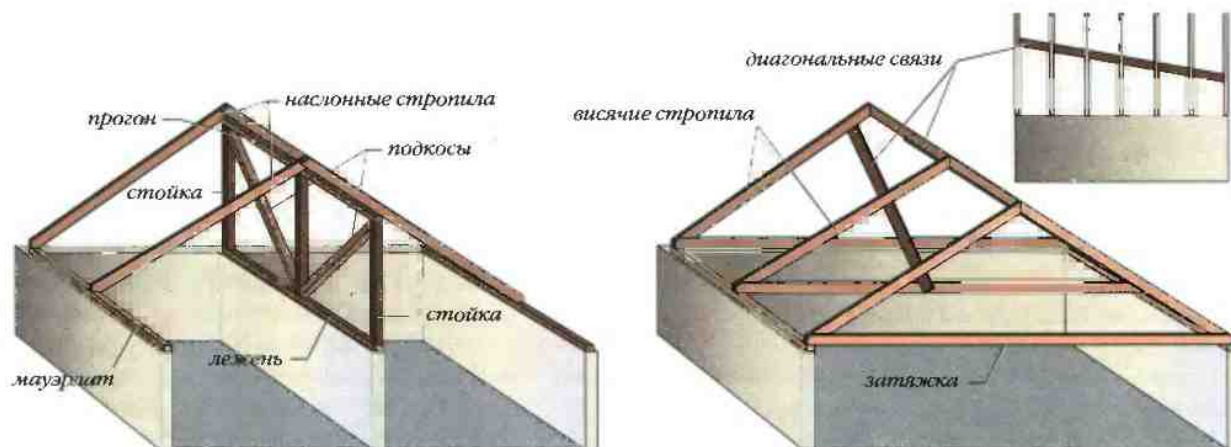


Рис. 12. Пример обеспечения пространственной жесткости

Общая устойчивость стропильной системы обеспечивается раскосами, подкосами и диагональными связями (рис. 12). Устройство обрешетки также способствует общей устойчивости стропильной системы.

Вес кровли. На выбор сечения стропил и шага их установки существенное влияние оказывает собственный вес кровли, материал которой, в свою очередь, зависит от уклона скатов крыши.

Скаты одной кровли обычно устраивают с одинаковым уклоном, который выбирают в зависимости от кровельного материала, способа его укладки, архитектурных требований и экономических соображений, а также от района строительства. С крутых кровель,

с уклоном 45° и более, быстро удаляется атмосферная вода и снег, что учитывают при строительстве зданий в районах с большим количеством осадков. Но с увеличением уклона повышается стоимость кровли. Например, при возведении кровли с уклоном 45° требуется в полтора раза больше материала, чем для плоской, а при уклоне крыши в 60° — в два раза больше. В тех районах страны, где бывают сильные ветры, наиболее рационально устраивать пологие кровли, так как ветровая нагрузка на скаты таких кровель меньше и наоборот, в заснеженных районах с не сильными ветрами, лучше делать крутые скаты, уменьшая снеговую нагрузку за счет скатывания снега.

Уклон скатов крыш в различных нормативных документах выражается по разному: в виде безразмерных величин (отношения высоты к половине пролета), в процентах и градусах (рис. 13). Самое понятное определение уклона в виде безразмерных единиц. Когда крыша строится, то конечно же, никто не измеряет наклон скатов в градусах транспортиром. Если при строительстве отсутствует проектная документация, задающая высоту устройства конька, поступают проще: измеряют пролет здания, находят центр и от него вверх с помощью ровной деревянной рейки выносят высоту равную, например, по-

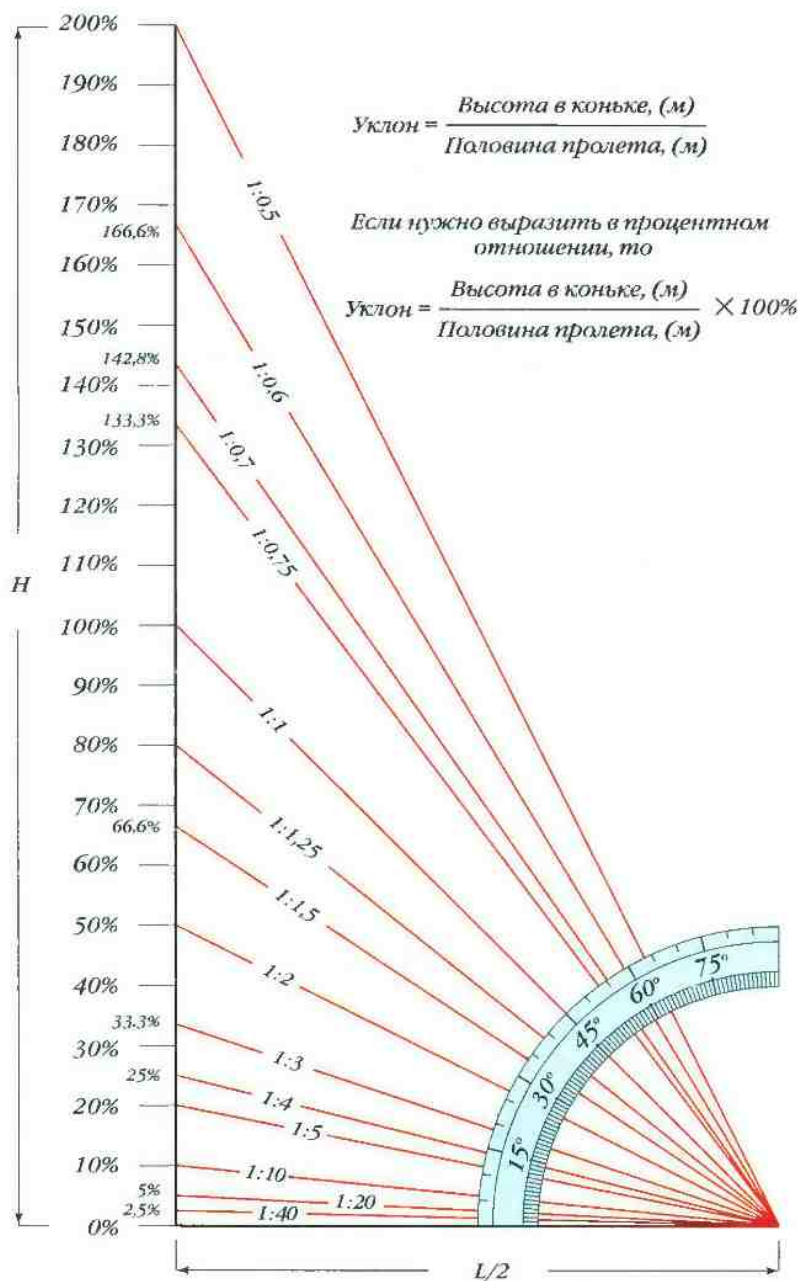


Рис. 13. Взаимосвязь между безразмерной величиной уклона, углом в градусах и процентах

ловине пролета (уклон 1 : 1) или трети половины пролета (уклон 1 : 3), или любую другую. Процентное определение уклона, на взгляд многих строителей, только запутывает работу.

На уклон скатов крыши влияет и вид кровельного материала, так как при строительстве необходимо учитывать размер кровельного материала, способ его крепления, технологичность укладки и предусмотреть дальнейшую его ремонтпригодность и доступность обслуживания. Для скатных крыш применяют различные кровельные материалы: стальные оцинкованные листы, плоские и волнистые асбестоцементные и битумные листы, керамическую, цементную и металлическую черепицу, рубероид и другие. Выбор кровельного материала определяет величину угла наклона крыши. Чем плотнее материал кровли и герметичнее его стыки, тем меньше может быть уклон крыши, и наоборот, чем мельче размеры штучного кровельного материала, например, черепицы, тем круче должна быть крыша. Это объясняется не только большим количеством соединений малоразмерных деталей, а значит, возможным протеканием, но и большим весом кровли. Чем тяжелее кровельный материал, тем больший угол наклона нужно придать скатам. Рекомендуемые уклоны скатных крыш приведены в таблице 5.

Рекомендуемые уклоны скатных крыш

Таблица 5

Материал скатной кровли	Уклон крыши	Масса 1 м ² , кг
Волнистые а/ц листы: среднего профиля усиленного профиля	от 1 : 10 до 1 : 2	11
	от 1 : 5 до 1 : 1	13
Волнистые целлюлозно-битумные листы	от 1 : 10 и более	6
Мягкая (гибкая) черепица	от 1 : 10 и более	9–15
Из оцинкованной жести: с одинарными фальцами с двойными фальцами	от 1 : 4 и более	3–6,5
	от 1 : 5 и более	3–6,5
Керамическая черепица	от 1 : 5 до 1 : 0,5	50–60
Цементная черепица	от 1 : 5 до 1 : 0,5	45–70
Металлочерепица	от 1 : 5 и более	5

Необходимо отметить, что в таблице приведены рекомендованные практикой и нормативными документами уклоны скатов кровель из различных материалов и их усредненный вес на квадратный метр. Однако рынок строительных материалов намного богаче, фирмы-изготовители кровельных материалов постоянно совершенствуют свою продукцию: снижают вес и модернизируют технические характеристики изделий. При выборе конкретного материала на кровлю лучше использовать техническую документацию фирмы-изготовителя.

В вес кровли входит вес обрешетки. Обрешеткой называют несущий элемент кровли, к которому собственно крепится сама кровля. Различают два вида обрешеток: сплошная и разреженная (рис. 14). Чтобы определить требуемый вид обрешетки и шаг установки решетин, нужно заранее определиться с видом кровельного покрытия.

Разреженная обрешетка делается под жесткие кровельные материалы, то есть под те материалы, которые сами способны нести на себе снеговую и ветровую нагрузку и при этом не прогибаться и, тем более, не разрушаться. Разреженную обрешетку выполняют из деревянных жердей или пиленых брусков. В настоящее время в продаже появились П-об-

разные оцинкованные металлические решетины. Шаг установки решетин и размер их сечения зависят от вида кровельного материала.

Под кровли из крупноразмерных штучных элементов: асбестоцементные листы среднего и унифицированного профиля длиной до 1,3 м и цементноволокнистые листы раскладки обрешетки выбирают таким, чтобы под каждым листом оказалось три решетины. Обычно шаг решетин составляет 60 см под асбестоцементные и цементноволокнистые

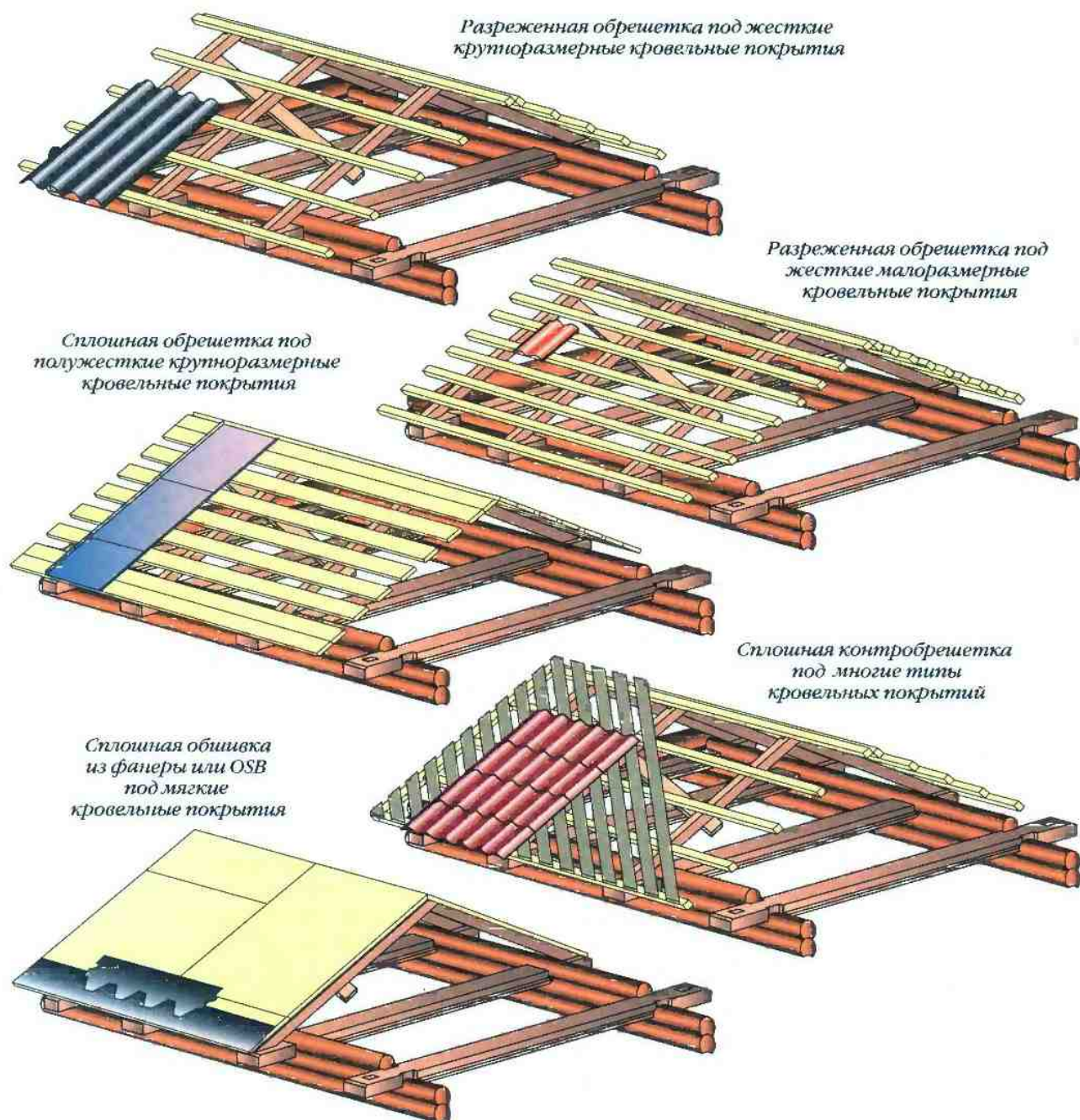


Рис. 14. Разновидности обрешеток

тые листы любой унифицированной длины. Сечение решетин обычно принимается 60×60 мм, можно и меньше, например, 40×60 мм, но тогда их нужно устанавливать чаще. Под волнистые целлюлозобитумные листы типа ондулин шаг обрешетки выбирается от имеющегося уклона скатов крыши. Он выбирается размером 45 см для уклонов от 1 : 6 до 1 : 4 и 60 см — для уклонов более 1 : 4. Для крыш с уклоном скатов менее 1 : 6 под ондулин делается сплошная обрешетка.

Под кровли из малоразмерных штучных элементов, например, из черепицы, шаг обрешетки принимается таким, чтобы каждая отдельная черепица легла на две решетки. Он может составлять от 16 до 40 см. Самый распространенный шаг примерно 33 см. При расчете веса кровельного покрытия лучше заранее определиться с выбором типа черепицы и уточнить шаг обрешетки. Обрешетку под черепицу при однослойном покрытии стелют из обрезных брусков сечением 50×50 или 50×60 мм, при двухслойном или тяжелой штампованной черепицей — сечением 60×60 мм.

При устройстве кровель из стального профилированного настила и его разновидности металлочерепицы, шаг решетин выбирается исходя из несущей способности материала. Обычно он составляет 35–40 см и равен поперечному шагу профиля металлочерепицы. Для обрешетки используются доски шириной примерно 100 мм.

Под мягкие кровельные материалы делается сплошная обрешетка. Применяемый для определения типа обрешетки термин — «сплошная» совсем не означает, что доски решетин прибиваются впритирку друг к другу. Обычно таким образом крепятся только две верхних и две нижних решетки, остальные образуют между собой зазор от 2 до 5 см. Решетки могут быть изготовлены из кромленного (ровного обрезанного с двух сторон по длине) или не кромленного теса толщиной 2–2,5 см. При применении не кромленных досок их располагают по скату кровли по типу комель к вершине, обзол с не кромленного теса должен быть обязательно снят.

Обрешетку под стальную кровлю выполняют сплошной или разреженной. Разреженную обрешетку делают из брусков сечением 50×50 мм, досок — 50×120 (140) мм, сплошную — из досок толщиной 30–40 мм. Бруски располагают через 200–250 мм друг от друга. Через каждые 1,4 м прибивают доски такой же толщины, как бруски, шириной до 140 мм (более широкие доски могут коробиться), которые необходимы для стыковки на них лежащих фальцев картин. Верх крыши — конек сбивают из досок шириной 200 мм.

В последнее время при использовании новейших кровельных покрытий стали часто использоваться контробрешетки. Контробрешеткой называют вторую, чаще всего сплошную обрешетку, выполненную под углом к первой. Угол наклона контробрешетки делают примерно равным 45°. Наклон решетин не только увеличивает пространственную жесткость крыши, но и позволяет сделать практически любую кровлю, за исключением, пожалуй, только черепичной, но при желании можно сделать и ее.

Сплошная обрешетка из досок может быть заменена на сплошную обшивку скатов влагостойкой фанерой или плитами OSB (табл. 6).

Подведем промежуточный итог. Итак, на стропильную систему крыши давит не только снег и ветер, но еще и материал кровли, вес которого должен быть учтен при выборе сече-

Рекомендуемая толщина сплошных обрешеток

Таблица 6

Шаг стропил, мм	Толщина фанеры, мм	Толщина OSB-3, мм	Толщина досок, мм
600	12	12	20
900	18	18	23
1200	21	21	30
1500	27	27	37

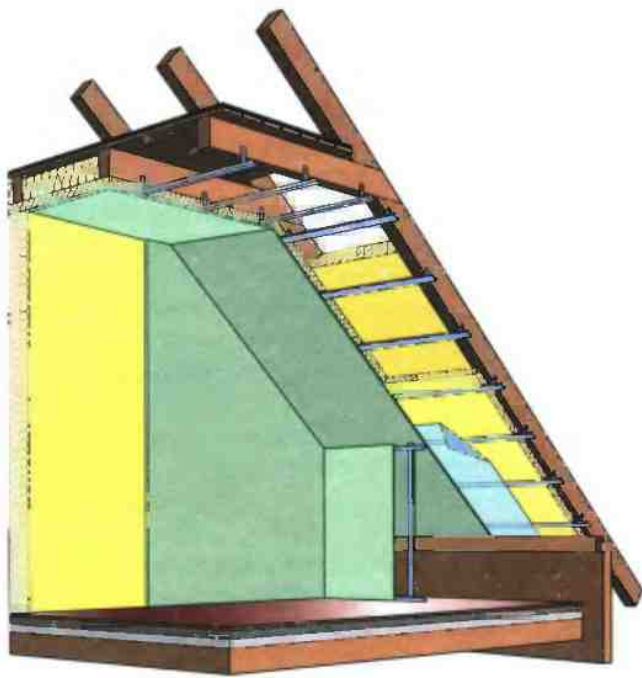


Рис. 15. Утепленный чердак — мансарда

Для внутренней отделки мансард (рис. 15) используются несколько типов обшивок: гипсокартоном, фанерой, деревянной вагонкой или панелями МДФ. В зависимости от типа применяемого материала меняется и вес обшивки, воздействующий на стропильную систему. Напомним, что объемный вес гипсокартона при влажности не более 1% — 850 кг/м³. Для расчета нагрузки от веса обшивки нужно умножить объемный вес материала на толщину предполагаемой обшивки. Например, мансарда будет подшиваться изнутри влагостойкими гипсокартонными листами (ГКЛВ) толщиной 12,5 мм (0,0125 м), тогда вес 1 м² обшивки будет равен 850 кг/м³ × 0,0125 м = 10,6 кг/м².

Для различных регионов строительства, отличающихся температурой наружного воздуха, толщина утеплителя, закладываемого в конструкцию крыши, будет различаться. В районах с высокой температурой наружного воздуха толщина утеплителя нужна меньше, в районах с низкими температурами — больше. От вида утеплителя, а как следствие, от его объемной массы и толщины, зависит какая дополнительная нагрузка будет воздействовать на стропильную систему.

Толщина утеплителя находится как произведение нормируемого теплового сопротивления ограждающей конструкции на коэффициент теплопроводности утеплителя.

$$T = R \times K_y,$$

где T — расчетная толщина утеплителя, (м); R — нормируемое для данного региона строительства тепловое сопротивление строительной конструкции (стены или покрытия/перекрытия), (м²×°С/Вт); K_y — коэффициент теплопроводности утеплителя, (Вт/м×°С), принимается по таблице СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» или по техническим характеристикам фирмы-изготовителя материала.

Для утепления мансардных помещений рекомендуются утеплители с коэффициентом теплопроводности не более 0,04 Вт/м×°С. Нормируемое теплосопротивление фронтонов стен и покрытия принимаем по карте, изображенной на рисунке 16.

Полный расчет утепления кровли проводится по СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» и СНиН 23-01-99 «Строительная климатология», где определяется толщина утепли-

ния стропил и шага их установки. Приблизительный вес материала кровельного покрытия можно принять по таблице 5, а вес обрешетки нужно рассчитать исходя из выбранного материала и конструкции кровли. Для деревянных обрешеток применяются бруски хвойных пород. Объемный вес одного кубометра древесины равен 500–550 кг/м³. Если будет использована фанера или OSB, то их объемный вес равен 600–650 кг/м³.

Вес утеплителя и внутренней подшивки. Чердачные помещения крыш можно разделить на два вида: нежилые и жилые. В нежилых (холодных) чердаках утепляют только перекрытие, разделяющее дом и чердачное помещение. В жилых чердаках — мансардах, используемых круглый год, утепляют скаты крыши, боковые стены и часть перекрытия. Таким образом, к нагрузкам, воздействующим на стропильную систему, добавляются вес утеплителя и внутренней обшивки.

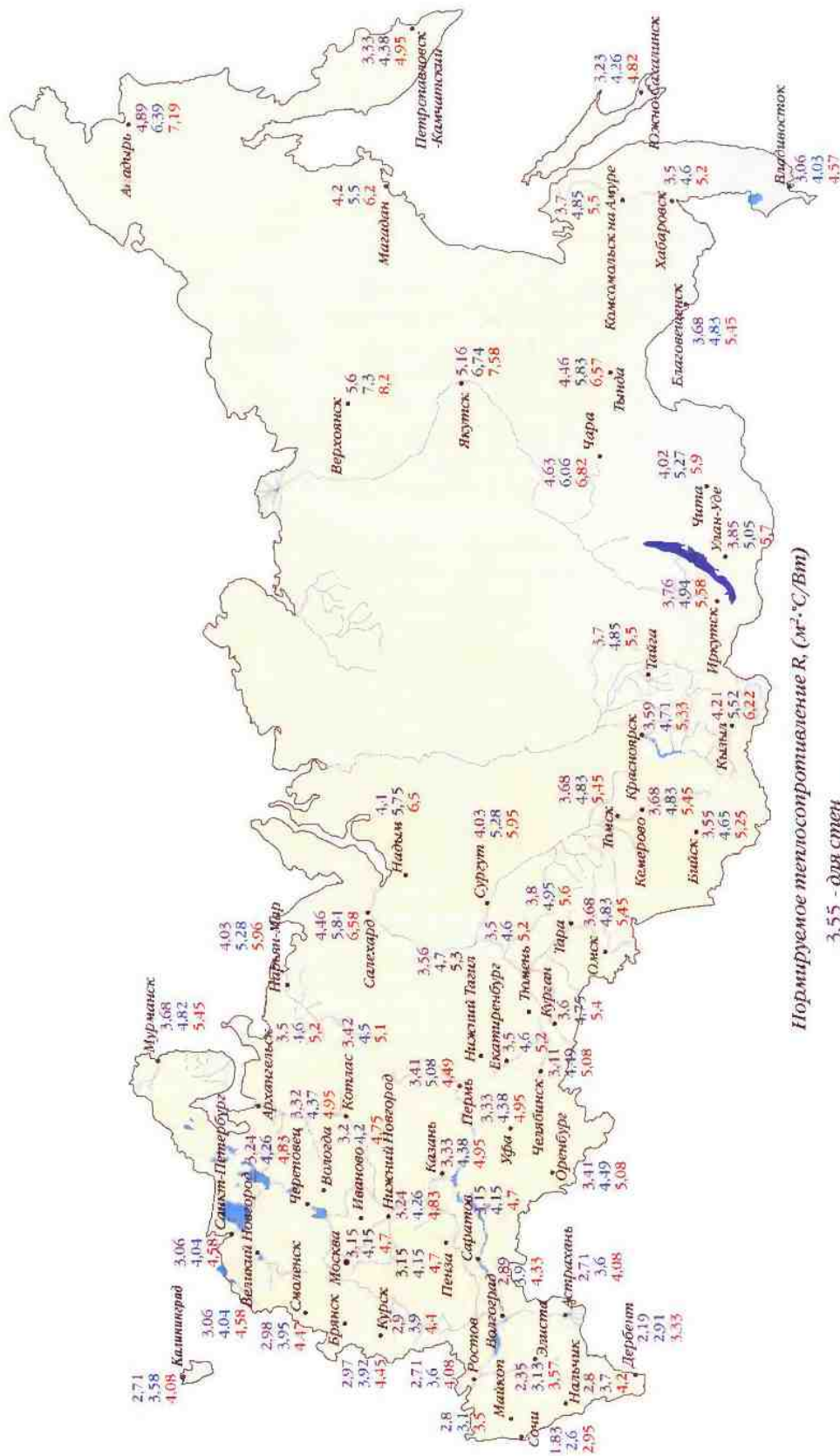


Рис. 16. Карта-схема нормируемого теплового сопротивления для различных регионов строительства

теля, учитывается затухание температуры в конструкции в зависимости от температурных колебаний наружного воздуха и режима отопления, учитывается влажность воздуха и не допускается появление температуры точки росы на поверхности и внутри конструкций. В нем проводится расчет тепловой устойчивости ограждающих конструкций. Провести полный теплорасчет сложно и лучше обратиться к специалистам.

В данной книге приведена упрощенная схема расчета утеплителя, не учитывающая теплосопротивление материала внутренней обшивки, кровли и воздушной прослойки, а при расчете утепления боковых фронтонов — материала стены. Тем не менее, для скатов крыши полученная в результате упрощенного расчета толщина утеплителя будет примерно такой, какая требуется, даже чуть больше.

Зная требуемую толщину утеплителя и его объемный вес, нетрудно рассчитать, какая дополнительная нагрузка будет действовать на стропильную систему от веса утеплителя. Например, предположим, что утепляем скатную крышу в Подмоскovie утеплителем URSA M-20. Нормированное сопротивление покрытий для Москвы равно $4,7 \text{ м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, теплопроводность утеплителя (по техническим характеристикам) URSA M-20 равна $0,038 \text{ Вт}/\text{м} \times ^\circ\text{C}$. Таким образом, толщина утеплителя получится $T = 4,7 \times 0,038 = 0,179 \text{ м} = 18 \text{ см}$. В технических характеристиках утеплителя находим его плотность — $18\text{--}21 \text{ кг}/\text{м}^3$. Выбираем наиболее худший показатель — $21 \text{ кг}/\text{м}^3$ и находим вес одного квадратного метра $21 \times 0,18 = 3,8 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Необходимо отметить, что не все утеплители, обладающие коэффициентом теплопроводности близким к $0,04 \text{ Вт}/\text{м} \times ^\circ\text{C}$, имеют столь низкий вес, которым, в общем-то можно было бы и пренебречь, некоторые из них достаточно тяжелы и не учитывать дополнительное давление на стропила от веса утеплителя неразумно.

Собственный вес несущих конструкций крыши. На начальном этапе сбора нагрузок определяется ориентировочно: вес деревянной обрешетки $10\text{--}12 \text{ кг}/\text{м}^2$; наслонных стропил и деревянных прогонов по фермам $5\text{--}10 \text{ кг}/\text{м}^2$; висячих деревянных стропил, несущих только холодную кровлю $10\text{--}15 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Совокупность нагрузок. Зимой на стропильную систему крыши могут действовать одновременно все нагрузки: от веса снега, собственного веса стропильной системы, кровли, утеплителя и давления ветра. В другое время часть этих нагрузок исчезает, например, давление от веса снега, тем не менее, стропила рассчитывают на полную совокупность нагрузок. И после их арифметического сложения умножают на коэффициент надежности 1,1. Другими словами, крыша рассчитывается на самые неблагоприятные условия работы и при этом закладывается дополнительная десятипроцентная прочность (коэффициент 1,1). В старых нормах коэффициент надежности составлял 1,4, но в связи с изменением (увеличением) нормативных значений давлений от веса снега и ветровых нагрузок, этот коэффициент в новых СПиПах не указывается, что, впрочем, нисколько не запрещает вам, для подстраховки, изменить коэффициент надежности, например, с 1,1 до 1,15 или 1,2.

Расчетная нагрузка. Все вышеприведенные нагрузки относятся к разряду нормативных: они определяются по СНиПам и техническим характеристикам применяемых материалов. Эти нагрузки показывают общее давление от веса снега, слоев кровли и давления ветра и измеряются в килограммах на квадратный метр ($\text{кг}/\text{м}^2$). Однако в конструкции крыши имеются несколько несущих конструкций: решетины, стропила, прогоны. Каждая из них работает только на ту нагрузку, которая давит непосредственно на нее, а не на крышу в целом. Все перечисленные несущие элементы крыши — это линейные конструкции и должны рассчитываться на давление, действующее на каждый метр длины этого элемента, то есть единица измерения $\text{кг}/\text{м}^2$ должна быть переведена в единицу измерения $\text{кг}/\text{м}$.

На каждую отдельно взятую стропилину давит только та нагрузка, которая расположена над ней. Значит, совокупную равномерно распределенную нормативную нагрузку нужно умножить на шаг установки стропил (рис. 17). Изменением ширины шага установки стропил, а следовательно, изменением площади сбора нагрузки над стропилом можно увеличивать или уменьшать расчетную нагрузку.

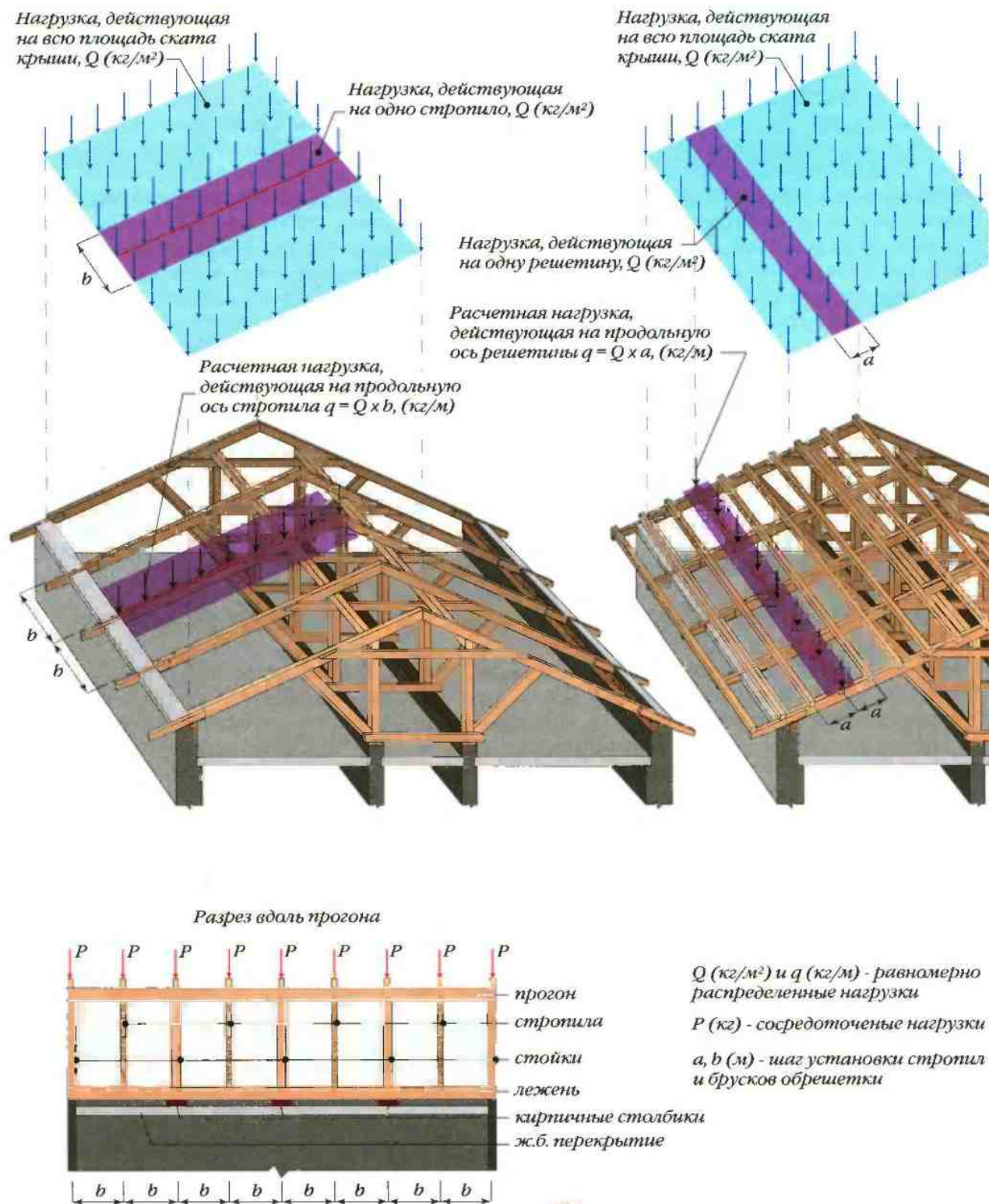


Рис. 17. Приведение нормативной нагрузки к расчетной

Обычно шаг установки стропил выбирают конструктивно в зависимости от размеров здания. Например, на стене длиной 6 м можно разместить стропила с шагом в 1 м, в этом случае потребуется 7 стропилин. Однако длина стены в 6 м также хорошо делится и на шаг 1,2 м, тогда получится 6 стропилин или на шаг 1,5 м — потребуется 5 стропилин. Для такой длины стен можно применить шаг установки и в 2, и в 3 м, но будет нужна усиленная обрешетка. Обычно шаг установки стропил не делают более 2 м, а для утепленных крыш его принимают равным размерам плит утеплителя 0,6, 0,8, 1,2 м. Другими словами, шаг установки стропил назначается в каждом конкретном случае свой, в зависимости от длины стен здания так, чтобы на ней разместилось целое число стропильных ног и расстояние между ними было одинаковым. Единственным критерием выбора шага стропил может быть только экономический. Нужно просчитать несколько вариантов установки стропил, найти их сечение и сравнить расход материалов. Наименьшая материалоемкость, при прочих равных, указывает на верность выбранного шага установки стропил.

С шагом установки решетин все обстоит несколько иначе, тут нельзя произвольно взять и изменить между ними расстояние. Чаще всего расстояние между решетинами зависит от применяемого кровельного материала, поэтому он задается строго определенных размеров, а сечение решетин подбирается расчетом. Расчетная нагрузка на каждый брусок или доску обрешетки определяется аналогично расчетной нагрузке на стропила, путем произведения нормативной нагрузки на шаг установки решетин.

Место установки прогонов назначается конструктивно и/или после расчета шага и сечения стропил. Они рассчитываются на сосредоточенные силы от давления стропил. Кроме обрешетки, стропил и прогонов, в конструкции крыш имеются и другие несущие элементы, такие как подкосы (подстропильные ноги) и стойки. Однако не будем пока забежать вперед и расскажем о них чуть позже.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ НАСЛОННЫХ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Нагрузки, образующиеся от веса снега, кровли, утеплителя и ветрового напора, принимает на себя обрешетка и передает их на стропильную систему. Как уже говорилось, в строительстве используют два вида стропильных систем: наслонные и висячие. Для строительства скатных крыш, чаще всего, используются деревянные пиленные изделия, что накладывает на конструктивную схему стропильных систем некоторые ограничения. Распиливать бревна на доски длиной более 7 м считается нецелесообразным, так как длинные доски труднее поддаются сушке без коробления.

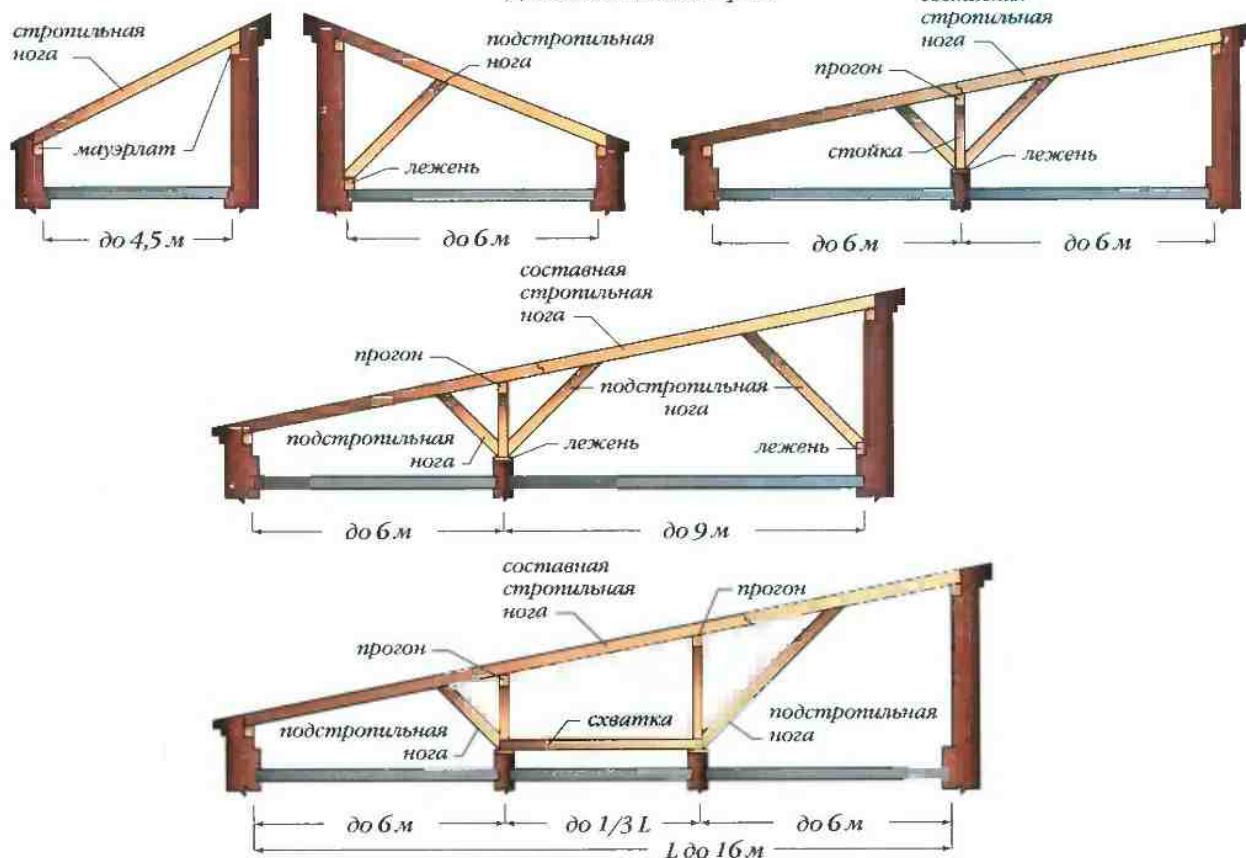
Стропильные системы

Наслонные стропильные системы просты по устройству и выполнению, они долговечны, так как работают в условиях сквозного проветривания, что в значительной степени устраняет возможность их загнивания. Покрытия по наслонным стропилам состоят из следующих основных конструктивных частей: настила или обрешетки, стропильных ног и подстропильной конструкции.

Стропильная система односкатной крыши состоит из отдельных стропил, опирающихся концами на противоположные стены здания, а двухскатной крыши — из пары отдельных наклонных стропильных ног, опирающихся нижним концом на стены, а верхними на подстропильную систему — прогон, поддерживаемый стойками (рис. 18).

С увеличением длины пролета возникает опасность прогиба или выворачивания стропил, поэтому подстропильная система усложняется: стропила подпирают дополнительными деревянными элементами, называемыми стойками и подстропильными ногами (подкосами). Эти конструкции устанавливают также при стыковании стропил, сделанных из нескольких досок. Подстропильные ноги, дополнительные стойки и прогоны (несущие балки) не только не дают стропильной ноге прогнуться или вывернуться, но и увеличивают ее несущую способность. Стропила одного и того же сечения, сделанные с разгру-

Для односкатных крыш



Для двускатных крыш

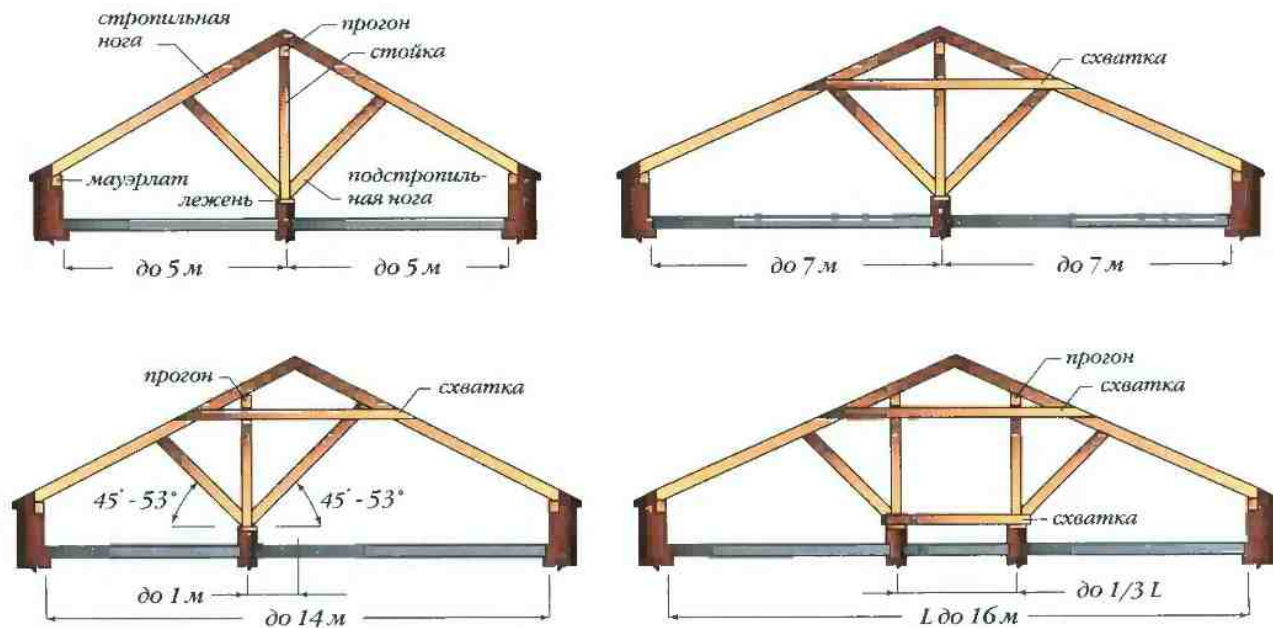


Рис. 18. Схемы и элементы наслонных несущих деревянных стропил

жающими конструкциями (стойками, прогонами и подстропильными ногами), способны нести большую нагрузку, чем стропила, установленные без этих конструкций.

Как уже говорилось, наслонная система стропил может быть распорной или безраспорной конструкцией. От правильного выбора узлов опирания и сочленения стропильных ног зависит будут стропила распирают стены или не будут, нужно под них предусматривать различные мероприятия для перехвата распора или не нужно.

Сначала внесем некоторую ясность в чтение расчетных схем (рис. 19–58).

В узлах конструкций нарисованы кружочки, означающие шарнирное соединение. Шарниры лапками соединяются с условными опорами, по которым можно визуальное представить степень свободы узла. Шарнир с двумя заделанными в опору лапками предполагает, что узел неподвижен, но балка может крутиться в шарнире, то есть узел обладает одной степенью свободы — поворотом. Шарнир с лапками, стоящими на скользящей опоре (ползуне), показывает, что узел обладает двумя степенями свободы — возможностью поворота балки и горизонтального смещения. Три степени свободы узла позволяют горизонтальное, вертикальное смещение и поворот, такой узел рисуется просто кружочком и может быть врезан в стержень, обозначающий балку или расположен под ней. Если узел врезан в балку, то ее называют разрезной, то есть балки, находящиеся слева и справа от шарнира, с некоторыми допущениями могут рассматриваться как отдельные элементы. Если кружочек (шарнир) нарисован под балкой, то балка, лежащая на нем, называется неразрезной. Шарнир с тремя степенями свободы, врезанный в балку, во многих случаях, делает ее мгновенно изменяемой системой, то есть довольно неустойчивой конструкцией. Узел с нулевой степенью свободы означает жесткое защемление конца балки и запрещает ей всякие смещения: горизонтальное, вертикальное и поворот.

Необходимо отметить, что слова: горизонтальное смещение и поворот совсем не означают, что, например, узел с двумя степенями свободы произвольно передвигается на ползуне. На самом деле, этот узел достаточно хорошо закреплен, но допускает возможность перемещения конца балки от нагрузки, температурных и влажностных изменений без чрезмерного развития в нем внутренних напряжений. Этот узел просто не передает распора, а поворот при изгибе балки возможен только в нормативных пределах. Слово «шарнир» тоже не нужно понимать буквально. Да, концы балок могут соединяться болтом или настоящим специально спроектированным шарниром, но, чаще всего, это обычное гвоздевое соединение. Например, можно взять доску и приколотить ее одним концом, предположим, к деревянной стене. Ничто не мешает нам взять ее за другой конец и преспокойно повернуть на некоторый угол. В данном случае, гвоздевое крепление, будь на том конце забит хоть десяток гвоздей, выступает как шарнир.

Поперечные размеры балок относительно их длины малы, поэтому балки (стропила и пр.) рисуются как стержни, а нагрузка в них распределяется как бы только вдоль продольной оси элемента и расчет всей конструкции ведется для стержневой схемы.

Рассмотрим на примерах схему работы наслонных стропильных систем.

Схема 1. Предположим, что имеем односкатную крышу пролетом 4,5 м или двухскатную пролетом до 9 м (рис.19, 20).

Работающее на изгиб стропило, не имеющее распора, должно опираться двумя концами на мауэрлат и прогон. При этом одну опору нужно делать закрепленной, но свободно вращающейся, другую свободно вращающейся и подвижной в направлении оси балки.

Таким условиям отвечают три варианта закреплений стропил (рис. 19):

1. Низ стропильной ноги подшивается опорным брусом или на нем делается врубка (запил) зубом и упирается в мауэрлат, а сверху стропила выполняется увеличенная горизонтальная врубка (запил) со скосом. В конце стропильной ноги изгибающий момент стремится к нулю, поэтому его подрезка в этом месте допускается, но не должна превышать следующих значений глубины: при высоте стропила $h \geq 18$ см не более $0,3h$, при h равном 12–18 см не более $0,4h$, при $h \leq 12$ см не более $0,5h$. Во всех случаях длина подрезки (площадка опирания) делается не более высоты сечения стропила. Подрезку ре-

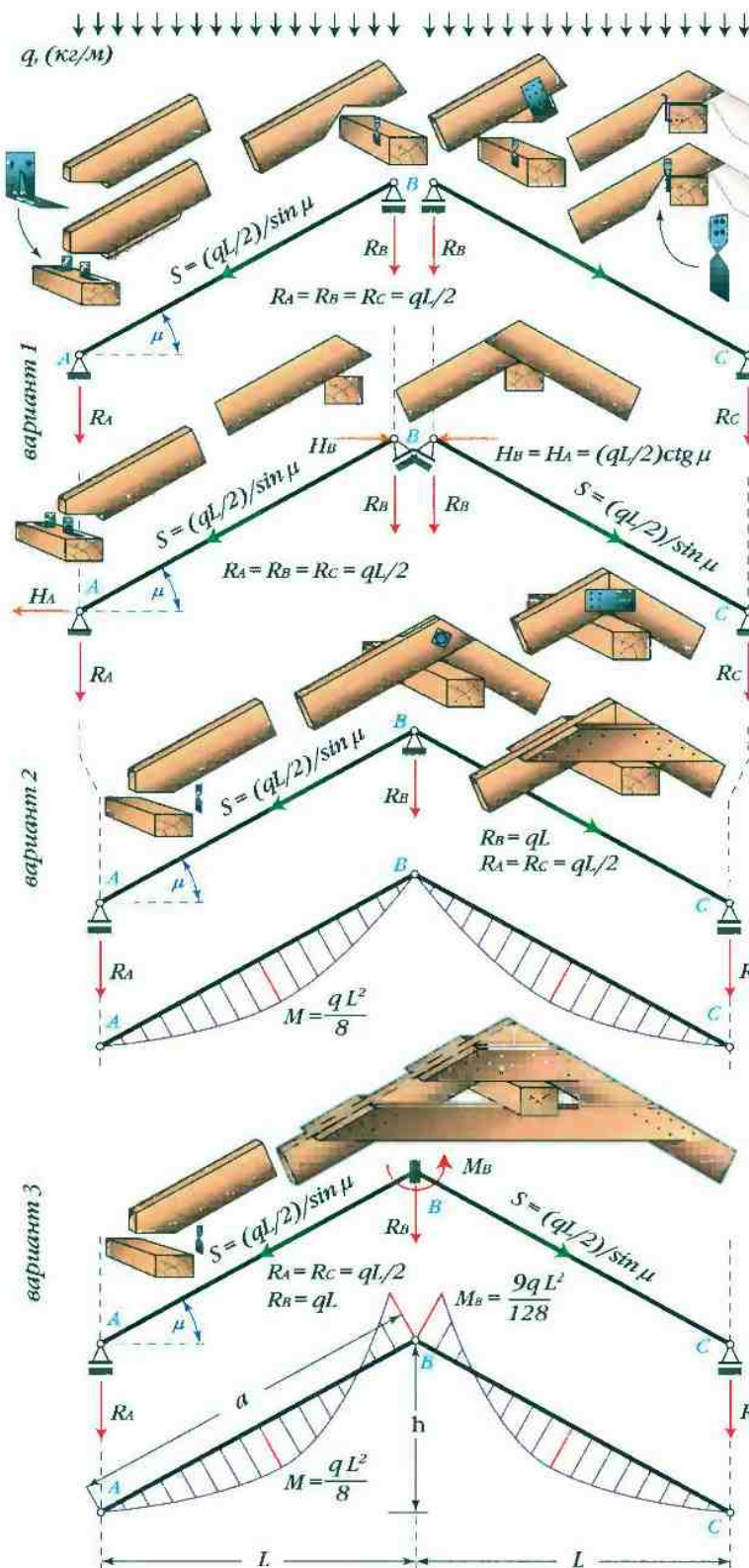
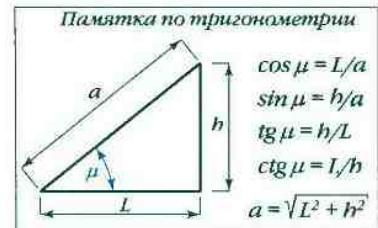


Рис. 19. Безраспорные схемы простых наслонных стропильных систем: Р — давление на опоры (кг); Н — распор (кг); М — изгибающие моменты (кг×м); q — равномерно распределенная нагрузка (кг/м); S — сжимающая сила (кг)

Примечание: Эюра моментов графически характеризует изгиб балки

опирание стропила низом на неподвижный шарнир, а верхом на подвижный не дает распора на стены

такое опирание верха стропил дает на стены распор



опирание стропила низом на подвижный шарнир, а верхом на неподвижный не дает распора на стены

Эюра изгибающих моментов (кг×м) для трех верхних схем

опирание стропила низом на подвижный шарнир с защемленным коньковым узлом не дает распора на стены, но в защемлении возникает внутреннее напряжение от изгибающего момента

Эюра изгибающих моментов (кг×м) для стропильной системы с защемленным коньковым узлом

комендуется скашивать, чтобы она не препятствовала изгибу стропила, иначе врубка боковой щекой упрется в прогон и получим распорную стропильную систему. Если подрезку верха стропильной ноги сделать невозможно, его подшивают обрезком стропила с двухсторонним креплением монтажными пластинами. Верхние концы стропильных ног свободно укладываются на прогон. В двускатных крышах их крепят только к прогону по типу скользящей опоры, а между собой не скрепляют. Двускатную крышу, в данном случае, рассматриваем как две односкатных, примкнутых друг к другу высокой стороной. Обратите внимание! Верхняя опорная врубка делается горизонтально. Стоит только изменить схему опирания на прогон, как стропило тут же показывает распор. Возможно, что с уровнем на конек лазить не нужно, прогон, все равно, слегка поведет при высыхании, но стремиться к горизонтальной поверхности врубки все-таки нужно;

2. Относится к двускатным крышам, можно и к односкатным, но это усложняет конструкцию. Низ стропильной ноги делают на ползуне, а верх закрепляют.

Верх стропильных ног не упирают друг в друга, а укладывают рядом и связывают гвоздевым боем или болтом, либо верх стропил упирается друг в друга или в прогон. В этом случае верхнюю врубку можно не делать горизонтальной, ее можно вообще не делать, если площадь опоры удовлетворяет требованиям несминаемости древесины. Стропила распор не проявляют;

3. Не дает распора и жесткое защемление конькового узла, когда низ стропильной ноги делают на ползуне, а верх жестко закрепляют. Однако в узле появляется изгибающий момент, стремящийся его разрушить.

Во всех трех вариантах соблюдается правило: один конец стропильной ноги делается на скользящей опоре, позволяющей поворот, другой на шарнире, допускающем только поворот. Если и вторую опору (ползун) выполнить только на шарнире, стропила будут

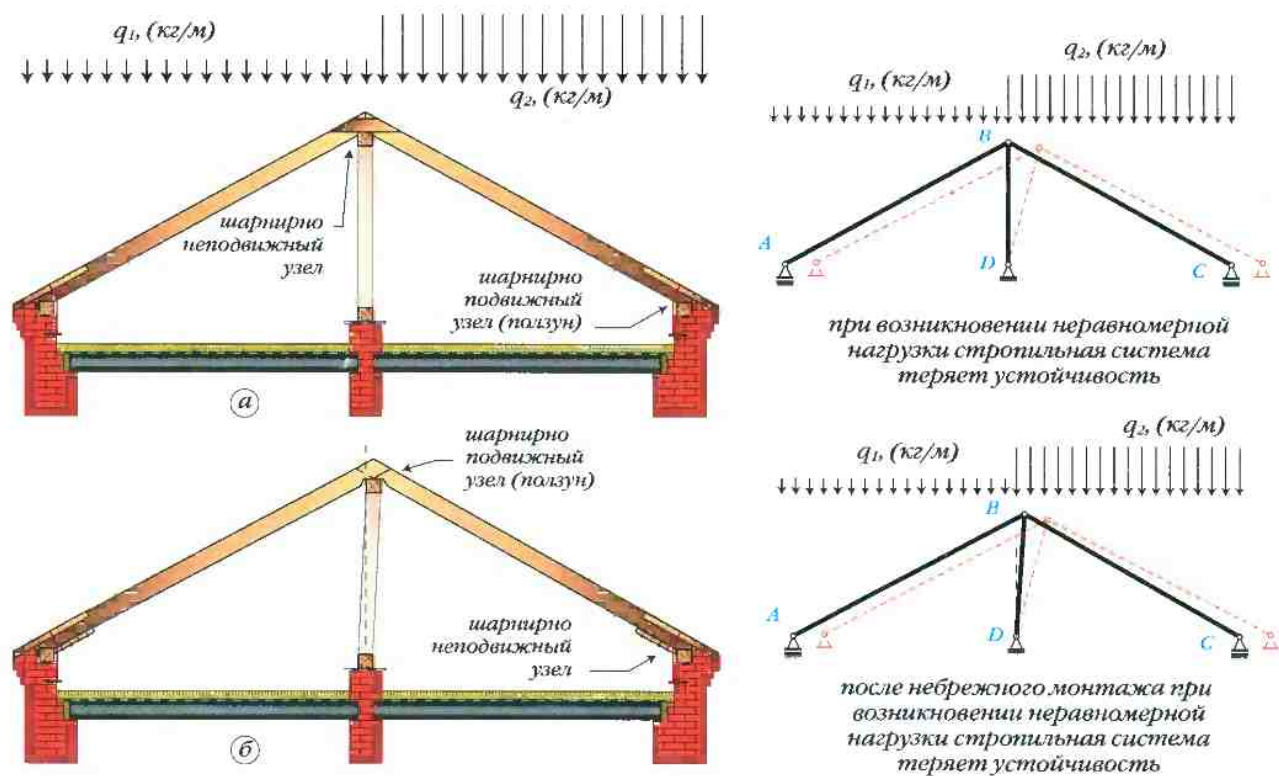


Рис. 20. Потеря устойчивости стропильных систем: а — сделанных по второму и третьему варианту; б — сделанных по первому варианту

распорными и давить на стены. Крепление стропил на ползунах и неподвижных шарнирах делаются самых разных конструкций. Сейчас их часто выполняют на крепежных пластинах. Можно крепить и по старинке: скобами, гвоздевым боем или использованием корытшей брусков и досок. Нужно только правильно подобрать вид крепежа, чтобы он подпирал или препятствовал скольжению стропила в опоре.

Все три варианта статически устойчивы при действии неравномерной нагрузки и разных углах наклона скатов только при условии, что коньковый прогон можно опереть концами на фронтоны стен и не допустить его горизонтального смещения. При опирании прогона на стойки ситуация меняется в худшую сторону.

Второй и третий варианты, в которых коньковый прогон опирается на стойки, обеспечивают статическую устойчивость всей системы только при равномерной нагрузке на оба ската и равном их угле наклона. На практике сделать абсолютно симметричные скаты довольно сложно. Небольшие погрешности в размерах скатов допускаются и крыша их простит, но если она сделана небрежно, то потеряет устойчивость даже в безветренную погоду, просто дождавшись первого серьезного снега (рис. 20). При значительном снижении нагрузки на одном из скатов, против расчетной на другом скате, крыша «уедет» в сторону более высокой нагрузки. Монтажное крепление низа стропильных ног пластинами или гвоздями ее не удержит. Первый вариант, в котором низ стропильной ноги сделан с врубкой зубом либо с подшивкой опорного бруска, а верх горизонтальной врубкой уложен на прогон, хорошо держит неравномерную нагрузку на различные скаты и допускает устройство разных наклонов скатов, но опять же, только при условии абсолютной вертикальности стоек, удерживающих коньковый прогон.

Для упрощения вычислений стропильная система рассчитывается на равномерно распределенную нагрузку, в реальности такой нагрузки на крышах почти никогда не бывает. Снег сползает к карнизу, на скатах и в ендовах образуются снеговые мешки, порывы ветра давят на один скат и отсасывают воздух от другого. Для того чтобы крыша не потеряла устойчивости, нужно принимать меры.

Схема 2. Берем те же варианты стропильных схем и заменяем в них нижние опоры с двумя степенями свободы (ползун) на опоры с одной степенью свободы (шарниры). Просто, где их нет, прибаваем к низу стропильной ноги опорные бруски. Обычно используется брусек длиной около метра и сечением 50×50(60) мм с расчетом гвоздевого соединения. В первом варианте расчетной схемы, там где стропила горизонтально оперты на прогон, спливаем верхние концы стропильных ног гвоздевым боем или скрепляем болтом и получаем, таким образом, подвижную шарнирную опору (рис. 21, 26).

Расчетные схемы стропильных систем меняются незначительно, все внутренние напряжения сжатия и изгиба остаются прежними, но во всех опорах стропил появляется распор $H = (qL/2) \times \text{ctg } \mu$, (кг).

В верхних узлах распор в одной стропильной ноге уничтожается противоположно направленным распором от конца другой стропильной ноги, поэтому здесь он не приносит особых хлопот. Однако концы стропильных ног, упертые непосредственно друг в друга или через прогон, могут быть проверены на смятие древесины, хотя в большинстве случаев этого и не требуется. Если в коньковом узле были сшиты концы стропил, уложенных по первому варианту, то здесь совсем не лишним будет рассчитать количество забиваемых гвоздей или диаметр болта.

Все коньковые узлы лучше выполнить таким образом, чтобы они зажимали брус прогона. Например, верхнюю врубку здесь стоит делать без скоса щеки, тогда стропило встанет в распор между прогоном и мауэрлатом и будет удерживать подстропильную конструкцию, состоящую из стоек и конькового прогона, то есть стропила будут подпирать подстропильную раму и препятствовать ее опрокидыванию, даже если она установлена не совсем вертикально.

В нижних узлах опирания стропил на мауэрлат распор уходит в мауэрлатную балку. Сам мауэрлат нужен для того, чтобы равномерно перераспределять нагрузку на стены, по-

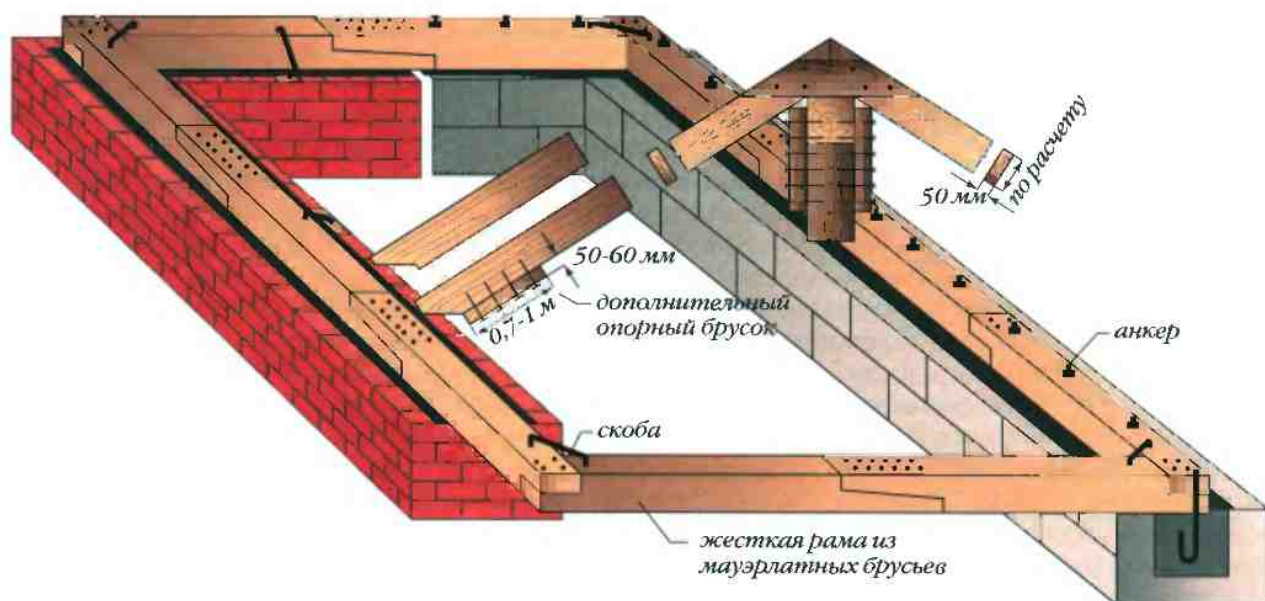


Рис. 21. Крепление мауэрлата, принимающего распор стропильной системы

этому его делают из досок 50×150 или бруса 100×150 (150×150) мм. В безраспорных стропильных системах мауэрлат к стене крепится конструктивно, то есть только для производства монтажных работ. В нашем случае мауэрлат должен либо сам принять, либо передать распор на стены.

Возможны два варианта устройства мауэрлатной обвязки, полностью принимающей распор от стропил (рис. 21):

— брусья мауэрлата связываются в единую жесткую раму по всему периметру здания. Сращивание брусьев производят зубчатым стыком с креплением болтами, гвоздевым боем или винтами (саморезами или глухарями), а углы рамы — скобами или пластинами. Таким образом, на стене получается жесткая рама, принимающая распор и работающая на растяжение и изгиб. Крепление такой рамы к стене производится либо скобами к антисептированным деревянным пробкам, предварительно заложенным в стену, либо анкерами;

— в стене по всему периметру производится заливка железобетонного пояса с выпуском анкеров для крепления мауэрлата. Такой способ рекомендуется для легких стен из газосиликатных, пенобетонных и им подобных блоков. Мауэрлатные брусья, прикрепленные анкерами, распределяют вертикальную нагрузку и передают распор на нижний монолитный железобетонный пояс. Здесь на растяжение и изгиб мауэрлат работает частично, а основное напряжение принимает армированный пояс.

В зависимости от решения узла опирания стропил на мауэрлат производят расчет на скалывание древесины либо расчет гвоздевого соединения.

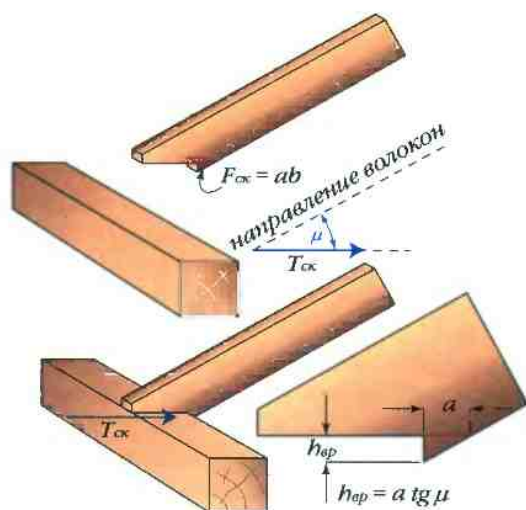


Рис. 22. Расчет на скалывание узла соединения стропила с мауэрлатом

Расчет на скол. Нужно рассчитать узел на скалывание древесины и подобрать такой размер врубки, чтобы скола не произошло.

Расчетное сопротивление древесины скалыванию силой, направленной под углом к волокнам α , определяется по формуле:

$$R_{ск\alpha} = R_{ск} / (1 + (R_{ск} / R_{ск90} - 1) \sin^3 \alpha) = 16 / (1 + \sin^3 \alpha),$$

где $R_{ск}$ и $R_{ск90}$ ($\text{кг}/\text{см}^2$) — расчетные сопротивления древесины скалыванию вдоль и поперек волокон. $R_{ск} = 16 \text{ кг}/\text{см}^2$, $R_{ск90} = 8 \text{ кг}/\text{см}^2$.

Угол наклона площадки скалывания по отношению к направлению волокон в нашем случае будет равен $\alpha = \mu$.

Рассчитав сопротивление древесины скалыванию $R_{ск\alpha}$ для конкретного наклона стропил, находим требуемую площадь, при которой скалывания не произойдет:

$$F_{ск} \geq T_{ск} / R_{ск\alpha},$$

где $T_{ск}$ (кг) — сила, направленная на скол древесины, в расчетных схемах (рис. 19) она равна распору и обозначена буквой Н с оранжевым цветом вектора.

Исходя из площади, предотвращающей скалывание, находятся геометрические параметры врубки (запила). Однако глубина врубки не может быть любой, напомним, что она не должна превышать следующих значений глубины: при высоте стропила $h \geq 18 \text{ см}$ не более $0,3h$, при h равном $12\text{--}18 \text{ см}$ не более $0,4h$, при $h \leq 12 \text{ см}$ не более $0,5h$.

Пример расчета узла на скалывание (рис. 22).

Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет $150 \text{ кг}/\text{м}$; длина пролета (в горизонтальной проекции) равна $4,5 \text{ м}$; угол наклона скатов 30° .

Решение:

1. Определяем силу распора $H = (qL/2) \operatorname{ctg} \mu = (150 \times 4,5/2) \operatorname{ctg} 30^\circ = 337,5 \times 1,73 = 584 \text{ кг}$;
2. Находим расчетное сопротивление древесины сколу при угле наклона к направлению волокон 30°
 $R_{ск30} = 16 / (1 + \sin^3 30^\circ) = 16 / (1 + 0,125) = 14,2 \text{ кг}/\text{см}^2$;
3. Рассчитываем минимальную площадь, необходимую для того, чтобы скалывание не произошло
 $F_{ск} = T_{ск} / R_{ск30} = 584 / 14,2 = 41,1 \text{ см}^2$

Например, в качестве стропила будет использована доска толщиной $b = 5 \text{ см}$. Тогда длина площадки скалывания должна быть не менее $a = F_{ск} / b = 41,1 / 5 = 8,3 \text{ см}$.

4. Рассчитываем глубину врубки $h_{вр} = a \operatorname{tg} \mu = 8,3 \times \operatorname{tg} 30^\circ = 5 \text{ см}$.

Значит, при устройстве врубки (запила) стропила делаем ее глубиной не менее 5 см , тогда стропило, запиленное на зуб, обеспечит устойчивость крыши, а зуб врубки не отколет.

Подрезка стропила уменьшает площадь его поперечного сечения и ослабляет стропильную ногу. Для того чтобы не ослаблять эту несущую конструкцию и применяют подшивку опорными брусками с расчетом гвоздевого соединения на выдергивание и срез.

Расчет соединения на выдергивание гвоздей или винтов. Сопротивление одного гвоздя выдергиванию рассчитывается по формуле: $T_{вг} = R_{вг} d a_0$, где $T_{вг}$ — несущая способность гвоздя при выдергивании, кг ; $R_{вг}$ ($\text{кг}/\text{см}^2$) — расчетное сопротивление сухой древесины выдергиванию из нее гвоздя поперек волокон $R_{вг} = 3 \text{ кг}/\text{см}^2$ при сырой древесине, учитывая опасность появления трещин усушки в зоне гвоздя $R_{вг} = 1 \text{ кг}/\text{см}^2$; d (см) — диаметр гвоздя; a_0 (см) — расчетная длина гвоздя, равная его общей длине L , из которой исключены толщина прибиваемых досок, длина острия, равная $1,5d$, и ширина возможной щели, равная $0,2 \text{ см}$, между соединяемыми элементами (рис. 23).

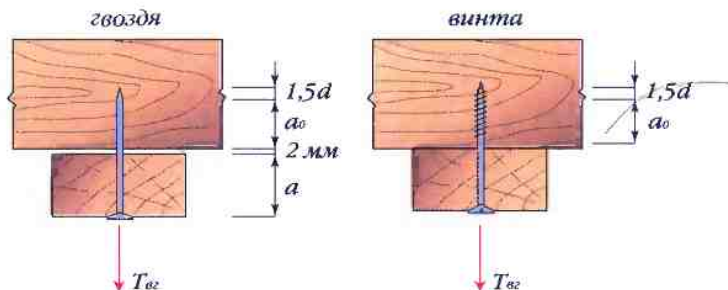


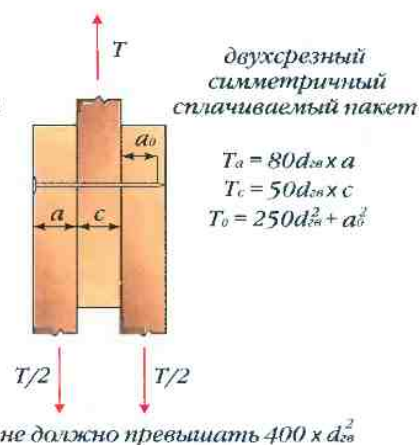
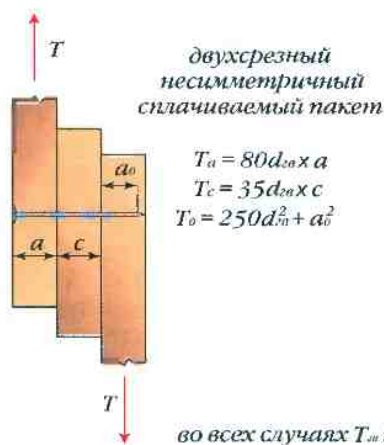
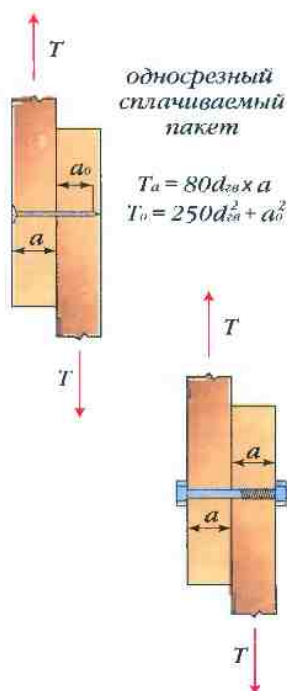
Рис. 23. Определение расчетной рабочей длины стального нагеля, работающего на выдергивание

Рассчитав на выдергивание несущую способность одного гвоздя, находят требуемое количество гвоздей для удержания опорного бруска от отрыва. Сила выдергивания от распора, в нашем случае, будет равна: $T_v = H \sin \mu$.

Необходимо отметить, что сила выдергивания гвоздей будет уменьшаться с удалением их от низа стропила и фактически на выдергивание будут работать первые два гвоздя, максимум, три. Сопротивляемость гвоздей выдергиванию невелика, поэтому их лучше заменить на винты. Кстати, винты диаметром до 12 мм называются шурупами, более 12 мм — глухарями. У шурупов головка сделана под отвертку, у глухарей — под ключ.

Рабочая длина винтов считается по длине резьбы, заходящей в скрепляемый элемент, за вычетом острия. Диаметр винта принимается по гладкой части. Расчет на выдергивание винта производится по той же формуле, что и для гвоздей, но расчетная несущая способность древесины на выдергивание винта выше, чем у гвоздя и составляет: $R_{вв} = 10 \text{ кг/см}^2$.

Напряжение сдвига T_n , выдерживаемое одним гвоздем



во всех случаях T_n не должно превышать $400 \times d_{св}^2$

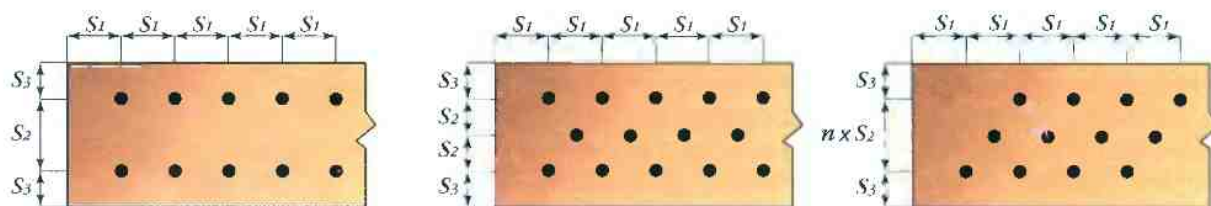
Напряжение сдвига T_b , выдерживаемое одним болтом

$T_b = 180d_b^2 + a^2$, где a - толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений, но не более $250 \times d_b^2$

Сортамент гвоздей

$d_{св}$ - диаметр гвоздя, мм	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
$L_{св}$ - длина гвоздя, мм	70; 80	80; 90	100; 110	125	150	175	200

Расстояние между осями гвоздей



$S_1 \geq 15d_{св}$ при $a \geq 10d_{св}$ $S_1 \geq 25d_{св}$ при $a = 4d_{св}$ $S_2 \geq 4d_{св}$ $S_3 \geq 10d_{св}$

Рис. 24. Расчет несущей способности гвоздей на срез и рекомендуемые способы их установки

Расчет узловых соединений на срез (изгиб) гвоздей.

Длина гвоздей для крепления растянутых элементов применяется такой, чтобы гвоздь пробивал все сплавливаемые элементы, но при этом не выходил наружу. Заостренный конец не засчитывается в длину гвоздя. Например, для одностороннего прибивания схватки толщиной 50 мм к стропилине толщиной тоже 50 мм нужны гвозди длиной 100 мм, а для для прибивания двусторонней схватки — 150 мм.

При шивании всех элементов концы гвоздей должны остаться в дереве. Вбитые таким образом гвозди работают на срез (изгиб), то есть гвоздей должно быть установлено такое количество, чтобы они не были срезаны (изогнуты) растягивающими или сжимающими усилиями. Выход гвоздя наружу хотя ошибкой и не считается, но все же крайне нежелателен, концы ржавеют и заражают ржавчиной весь стержень гвоздя. Гвозди можно заменять на стальные саморезы той же длины и толщины (по стержню, без учета толщины резьбы). Хрупкие китайские саморезы лучше не применять.

Растягивающее напряжение, которое выдерживает один гвоздь, вбитый в строительные элементы из сосны и ели, со смятием древесины вдоль волокон и работая на срез, определяется по формулам рисунка 24. Гвозди рассчитываются на срез (изгиб) по нескольким швам, за расчетную несущую способность гвоздя принимается наименьшее из полученных значений. При определении несущей способности гвоздя со стороны непробиваемого крайнего элемента пакета расчетную длину гвоздя a_0 принимают без учета острой кромки. Это подсчитывается так: из общей длины гвоздя вычитают толщины сплавливаемых элементов, которые гвоздь проходит насквозь, потом вычитается длина острия и накидывается еще по два миллиметра на число швов, пробитых гвоздем. Если расчетная длина a_0 получается меньше четырех диаметров, то работу конца гвоздя не учитывают.

Для того чтобы гвозди не «измочалили» и не раскололи древесину, их нужно вбивать на определенном расстоянии друг от друга. При встречной забивке гвоздей, если их концы заходят один на другой не более чем на $1/3$ толщины среднего элемента, разрешается сохранять одинаковую разметку гвоздей с каждой стороны соединения.

Соединения на металлических зубчатых пластинах.

В последнее время для узловых соединений дощатых элементов нашли применение металлические зубчатые пластины (МЗП). Наибольшее распространение в зарубежной практике строительства получили МЗП системы «Ганг-Нейл».

МЗП (рис. 25) представляет собой стальные пластины толщиной 1–2 мм, на одной стороне которых после выштамповки на специальных прессах получают зубья различной формы и длины. МЗП ставят попарно по обе стороны соединяемых элементов таким образом, чтобы ряды МЗП располагались в направлении волокон, присоединяемого дере-

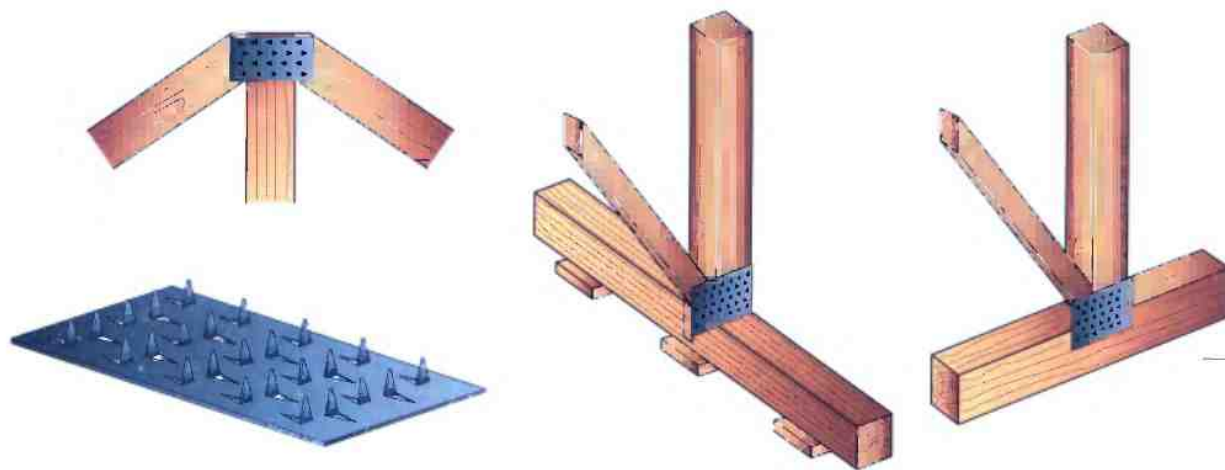


Рис. 25. Примеры соединений на МЗП

вянного элемента, в котором действуют наибольшие усилия. Изготовление конструкции должно производиться специализированными организациями, оснащенными оборудованием для сборки конструкций, запрессовки МЗП и контрольных испытаний конструкций. Ручная запрессовка МЗП не рекомендуется.

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

МЗП изготавливаются из листовой углеродистой стали толщиной 1,2 и 2 мм. Антикоррозийную защиту МЗН выполняют оцинковкой или покрытиями на основе алюминия.

В нашей стране применяют соединения на металлических зубчатых пластинах типа МЗП-1,2 и МЗП-2 (в соответствии с толщиной применяемой стали). Пластины МЗП-1,2 имеют размеры: длина 160–340 мм и ширина 80–140 мм с длиной зубьев 14,8 мм, а пластины МЗП-2 соответственно: длина 160–400 мм и ширина 80–200 мм с длиной зубьев 23,5 мм. В таблице 7 приведены основные расчетные характеристики соединений типа МЗП-1,2 и МЗП-2.

Стропильные конструкции рассчитывают с учетом неразрезности стропил и в предположении шарнирного крепления к ним других элементов.

Несущую способность соединения на металлических зубчатых пластинах N_c , кН по условиям смятия древесины и изгиба зубьев при растяжении, сдвиге и сжатии, когда элементы воспринимают усилия под углом к волокнам древесины, определяют по формуле:

$$N_c = 2RF_p,$$

где R — расчетная несущая способность по табл. 7; F_p — расчетная площадь поверхности МЗП на стыковом элементе, определяемая за вычетом площадей участков пластины в виде полос шириной 10 мм, примыкающих к линиям сопряжения элементов и участков пла-

Расчетная несущая способность соединений на МЗП

Таблица 7

Обозначение	Напряженное состояние соединения	Характерный угол β, α, γ , град	Расчетная несущая способность соединений с пластинами типа	
			МЗП-1,2	МЗП-2
R , МПа, рабочей площади соединения	Смятие древесины и изгиб зубьев при углах между направлением волокон и действующим усилием β	0–15	0,8	0,8
		30	0,7	0,7
		45	0,6	0,6
		60	0,5	0,5
		75–90	0,4	0,4
R_p , кН/м, ширины рабочего сечения пластины	Растяжение пластины при величине угла между продольной осью пластин и действующим усилием α	0–15	115	35
		45–90	200	65
$R_{ср}$, кН/м, длины срезаемого сечения пластины	Срез пластины при величине угла между продольной осью пластины и направлением срезающего усилия γ	65	35	65
		45	50	95
		90	35	65

стины, которые находятся за пределами зоны рационального расположения МЗП. Последняя ограничивается линиями, параллельными линии стыка, проходящими по обе стороны от нее на расстоянии половины длины стыка.

Учет эксцентриситета приложения к МЗП равнодействующей усилия при расчете опорных узлов треугольных трехшарнирных арок осуществляется снижением расчетной несущей способности соединения умножением на коэффициент k , определяемый в зависимости от уклона стропил. При уклоне 0 градусов $k=1$; при 15°, $k=0,85$; при 18°, $k=0,8$; при 22°, $k=0,7$; при 25°, $k=0,675$; при уклоне более 25°, $k=0,65$.

Несущую способность металлических зубчатых пластин N_p при растяжении находят по формуле:

$$N_p = 2bR_p,$$

где b — размер пластины в направлении, перпендикулярном направлению усилия, см; R_p — расчетная несущая способность пластины на растяжение, кН/м, по таблице 7.

Несущую способность металлических зубчатых пластин Q_{cp} при срезе определяют по формуле:

$$Q_{cp} = 2l_{cp}R_{cp},$$

где l_{cp} — длина среза пластины без учета ослаблений, см; R_{cp} — расчетная несущая способность пластины на срез, кН/м, определяемая по таблице 7.

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

$$(N_p/2bR_p)^2 + (Q_{cp}/2l_{cp}R_{cp})^2 \leq 1$$

При проектировании конструкций на МЗП следует стремиться к унификации типоразмеров МЗП и сечений пиломатериалов в одной конструкции. Площадь соединения на каждом элементе (с одной стороны) должна быть для конструкции пролетом до 12 м не менее 50 см², а для конструкций пролетом до 18 м — не менее 75 см². Минимальное расстояние от плоскости соединения элементов должно быть не менее 60 мм. МЗП следует располагать таким образом, чтобы расстояния от боковых кромок деревянных элементов до крайних зубьев были не менее 10 мм.

Если при сборе стропильной системы будут использоваться МЗП других фирм-изготовителей, то расчет производится по рекомендациям и техническим характеристикам на изделия этих фирм.

Пример расчета на скалывание и срез гвоздей узла опирания стропила на мауэрлат (рис. 26).

Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет 150 кг/м; длина пролета (в горизонтальной проекции) равна 4,5 м; угол наклона скатов 30°. Стропило подшивается опорным брусом высотой 5 см гвоздями диаметром 5 мм (0,5 см), длиной 150 мм (0,15 см)

Решение:

1. Определяем силу распора: $H = (qL/2)\text{ctg } \mu = (150 \times 4,5/2)\text{ctg } 30^\circ = 337,5 \times 1,73 = 584 \text{ кг}$;

2. Находим значения сил, работающих на срез T_c и выдергивание гвоздей T_b :

$$T_c = H \cos \mu = 584 \cos 30^\circ = 506 \text{ кг};$$

$$T_b = H \sin \mu = 584 \sin 30^\circ = 292 \text{ кг}$$

3. Рассчитываем рабочую длину гвоздя a_0 . Из полной длины 150 мм вычитаем высоту опорного бруса 50 мм, зазор между брусом и стропилом 2 мм, острие гвоздя $1,5d = 7,5 \text{ мм}$:

$$a_0 = 150 - 50 - 2 - 7,5 = 90,5 \text{ мм} = 9,05 \text{ см}$$

4. Рассчитываем несущую способность одного гвоздя на выдергивание и срез:

на выдергивание $T_b = R_{bt}\pi da_0 = 3 \times 3,14 \times 0,5 \times 9,05 = 42,7 \text{ кг}$;
на срез по стыку $T_a = 80da = 80 \times 0,5 \times 5 = 200 \text{ кг}$; на срез по рабочему концы $T_{a0} = 250d^2 + a_0^2 = 250 \times 0,25 + 81,9 = 144,4 \text{ кг}$

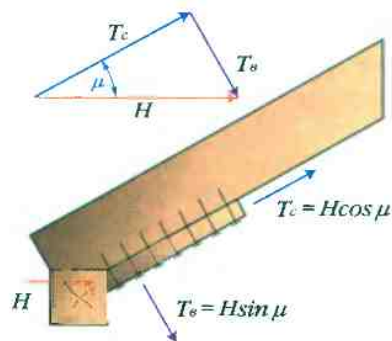


Рис. 26. Расчет узла на срез (изгиб) и выдергивание гвоздей.

Значит, в качестве расчетной несущей способности гвоздя на срез мы должны выбрать наименьшее $T_c = 144,4$ кг, но это значение противоречит условию, при котором несущая способность гвоздя на срез не должна превышать $400d^2 = 400 \times 0,25 = 100$ кг. Окончательная несущая способность одного гвоздя на срез T_c принимается равной 100 кг.

5. Рассчитываем требуемое количество гвоздей: при работе на срез нужно $506/100 = 5$ гвоздей; при работе на выдергивание нужно $292/42,7 = 7$ гвоздей.

К производству принимаем наибольшее количество гвоздей — 7 шт.

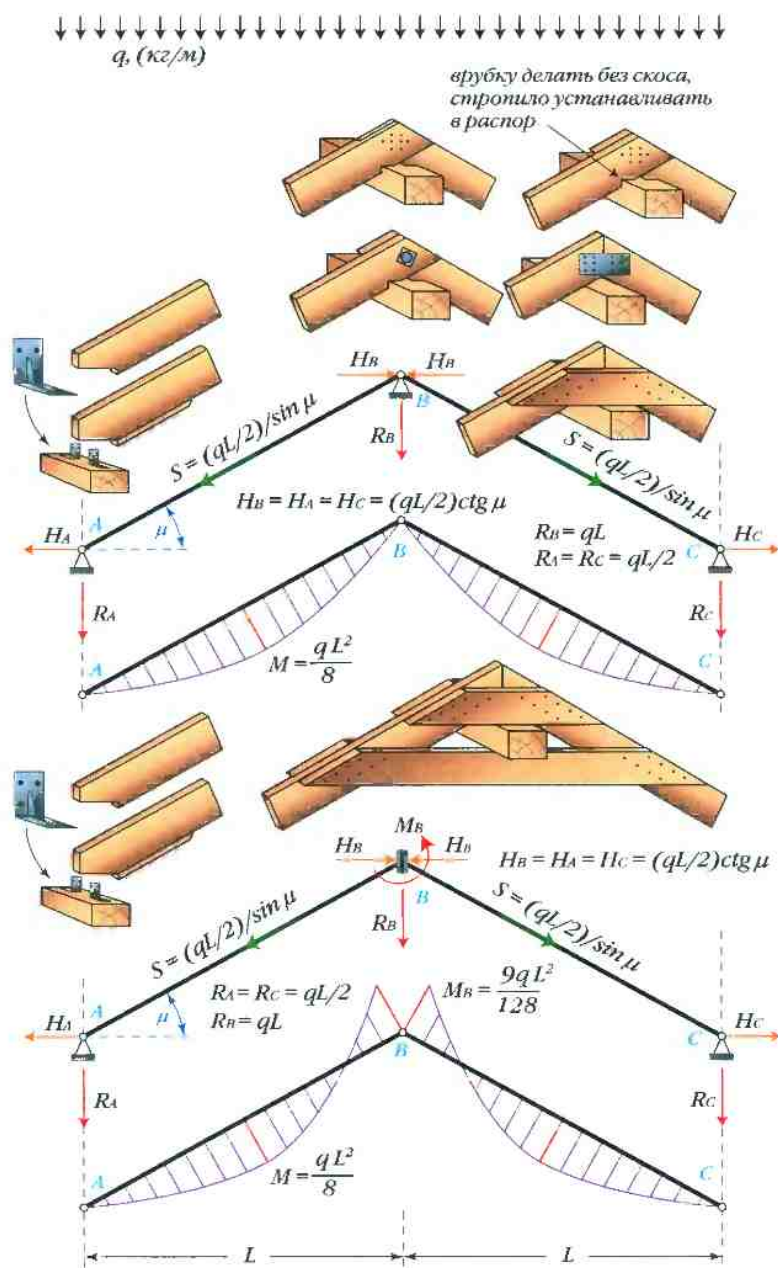


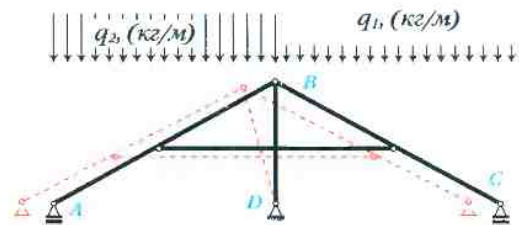
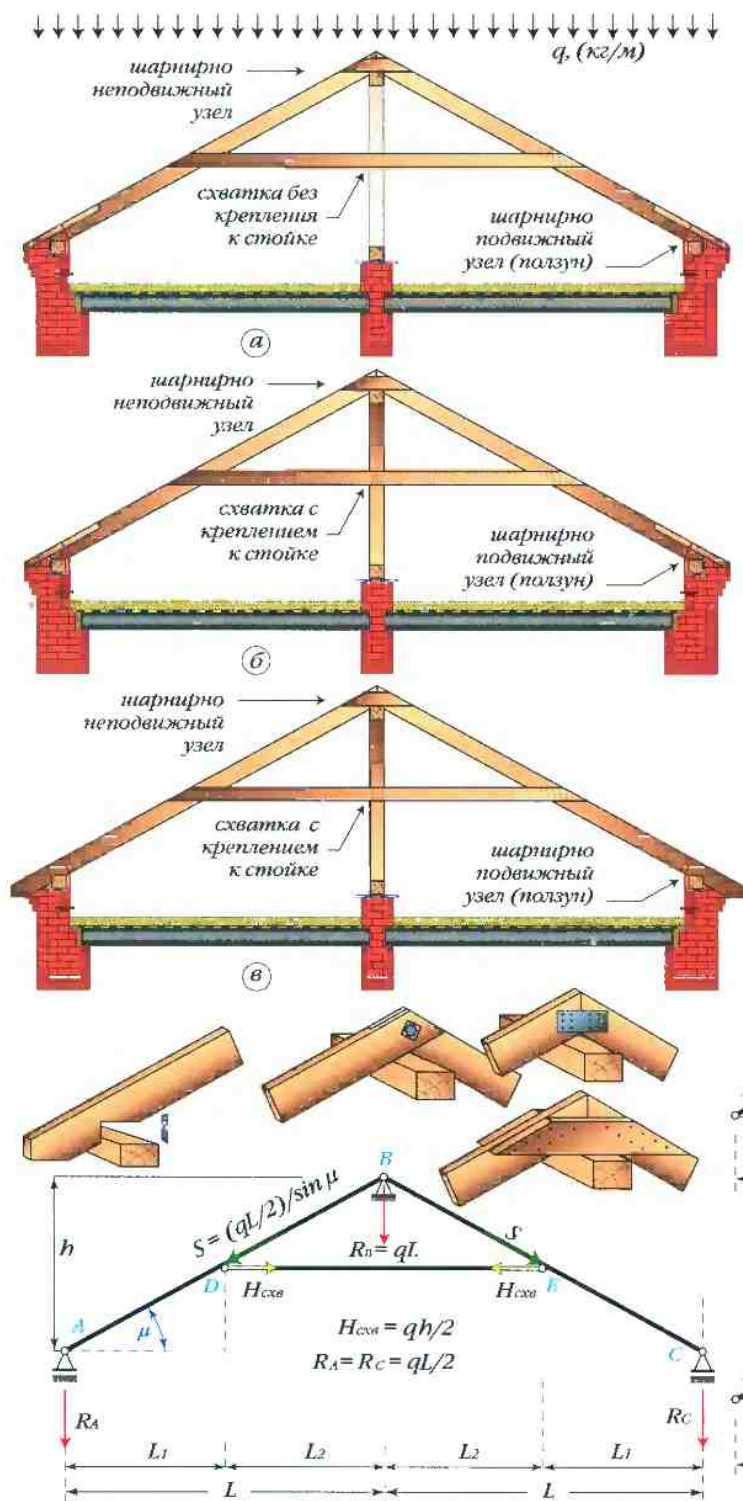
Рис. 27. Распорная схема с неразрезными наклонными стропилами на прогонах: R — давление на опоры (кг); H — распор (кг); M — изгибающие моменты (кг×м); q — равномерно распределенная нагрузка (кг/м); S — сжимающая сила (кг)

Таким образом, безраспорная схема (рис. 19, 20), преобразованная в распорную схему (рис. 27), с расчетом узлов опирания стропил на мауэрлат, становится статически устойчивой при неравномерно распределенной нагрузке и разных углах наклона скатов. Если рассчитывать стропила (следовательно и карнизный узел) по максимальной, но равномерно распределенной нормативной нагрузке, то стропильная система не потеряет своей устойчивости при снижении нагрузки на одном из скатов, чего никак не скажешь о схемах, изображенных на рис. 19.

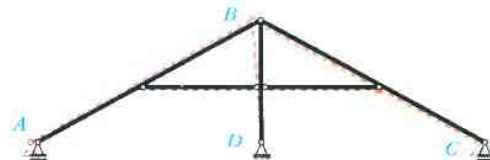
Так что, сделать стропильную систему с коньковым прогоном, опертм на стойки статически устойчивой и безраспорной нельзя?

Схема 3. За основу опять принимаем безраспорную схему, изображенную на рис. 20, но вводим в нее горизонтальную схватку (рис. 28).

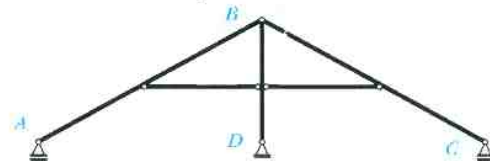
Горизонтальная схватка, упертая в противоположные стропильные ноги, в этом случае работает на сжатие. Существует устойчивое заблуждение, что горизонтальная схватка всегда работает на растяжение, это не так. Она работает на растяжение при отсутствии опоры в коньковом узле, а у нас там стоят прогон и стойки. Схватка будет работать на растяжение при просадке конькового прогона, а это возможно только при неравномерной усадке всего здания и зависит от фундамента, грунта и ма-



При возникновении неравномерной нагрузки стропильная система теряет устойчивость



Схватка, прикрепленная к стойке, заметно повышает устойчивость всей стропильной системы



Стропила, вынесенные за обрез стены, делают всю стропильную систему статически устойчивой

Расчетные эпюры моментов

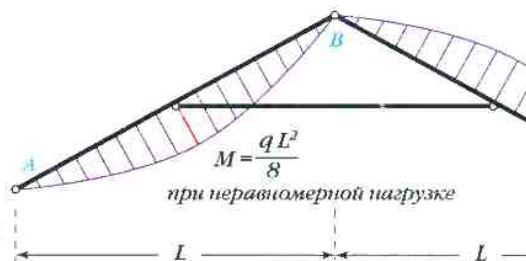
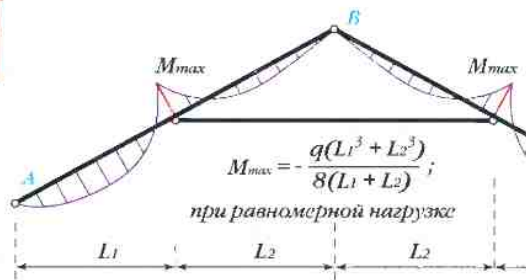


Рис. 28. Безраспорная схема с неразрезными наслонными стропилами на прогонах с введением ригеля-схватки: а — схватка не прикреплена к стойкам; б — схватка прикреплена к стойкам везде, где они есть; в — схватка прикреплена к стойкам, стропила выведены за стену

териала стен, но это уже другая история. Просадка подстропильной конструкции (прогона и стоек) вследствие усыхания дерева незначительна, поскольку самые длинные элементы в этой конструкции — стойки, а дерево вдоль волокон усыхает не более чем на 0,1% от первоначальной длины.

Введение схватки в безраспорную схему стропильной системы значительно повышает ее устойчивость, но только в том случае, если схватка в местах пересечения со стойками (там, где они есть) пришивается к ним гвоздевым боем. Если ее не крепить к стойкам, то устойчивость системы от действия неравномерных нагрузок повышается незначительно. Чем ниже будет расположена схватка и чем жестче она будет прикреплена к стропилам, тем больше повышается устойчивость системы. Обычно схватку устанавливают на высоте не менее 1,8 м, чтобы она не особо мешала передвижению человека по чердаку. В качестве дополнительной меры, повышающей устойчивость всей системы, желательно (но не обязательно) делать коньковый узел по защемленной схеме.

Пример расчета узла соединения схватки со стропилом (рис. 29).

Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет 150 кг/м; высота конструкции в коньке 5 м (в осях). Толщина стропильной ноги и схватки 50 мм (5 см). Крепление схватки к стропильной ноге произведем болтами (гвозди уже были в примере выше, сейчас выберем болты).

Решение:

1. Определяем максимально возможное усилие, сжимающее схватку:

$$N_{схв} = qh/2 = 150 \times 5/2 = 375 \text{ кг}$$

2. Предположим, что будем крепить ригель к стропилу болтами диаметром 10 мм (1 см). Определим несущую способность одного болта на срез.

$$T_b = 180d_b^2 + 2a^2 = 180 \times 1^2 + 2 \times 5^2 = 230 \text{ кг}$$

Нам для крепления каждой стороны ригеля достаточно будет двух болтов: $230 \times 2 = 460 > 375 \text{ кг}$.

В коньковом узле тоже можно применить болтовое соединение стропил и там тоже понадобятся по два болта на каждое стропило, правда, там они будут работать на срез от растяжения, а не от сжатия.

Внимание! Если принято решение болтового крепления ригеля к стропилу, то расчет сечения стропильной ноги должен вестись по ослабленному сечению, то есть несущая способность стропи-

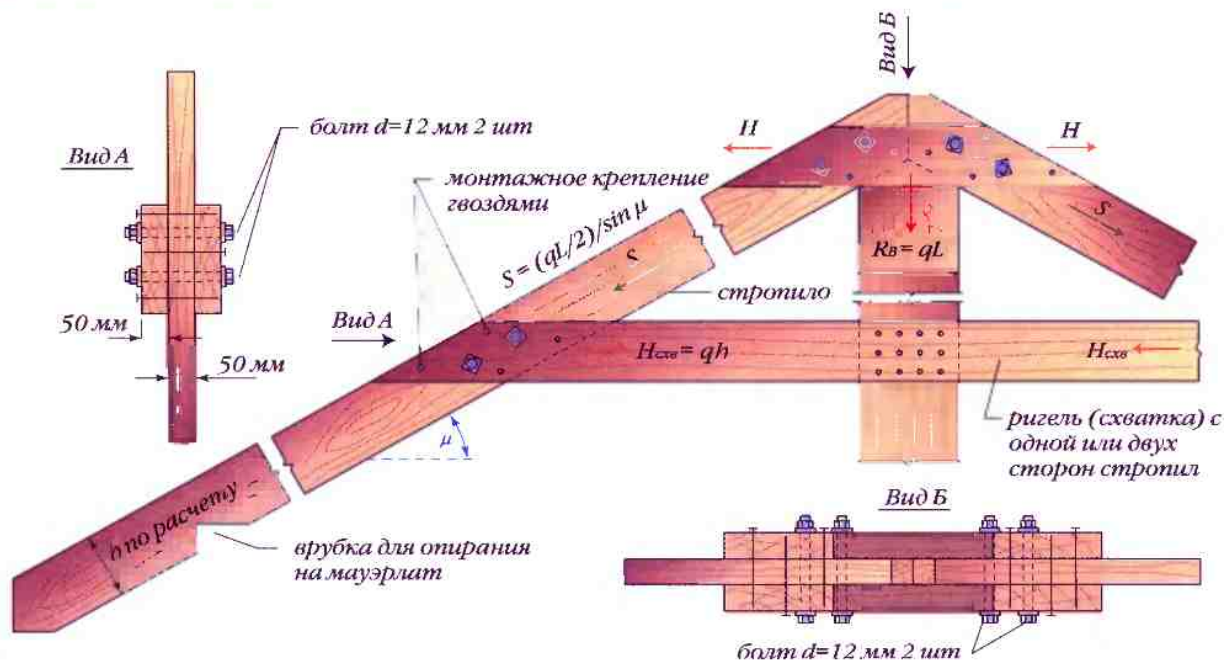


Рис. 29. К расчету болтового соединения ригеля или схватки со стропильной ногой

ла должна приниматься с коэффициентом 0,8. На коньковый узел это требование не распространяется. В коньке изгибающий момент стремится к нулю и небольшое ослабление сечения отверстиями под болты не окажет негативного влияния на несущую способность стропила.

Устойчивость системы еще больше повысится, если изменить схему опирания низа стропила на мауэрлат: сделать ее без кобылки, с выносом конца стропила за стену. Узел остается шарнирно подвижным (на ползуне) и не показывает распора. Для устройства карпизного узла нужно выполнить некоторые условия. Мауэрлат, уложенный под такой узел опирания стропила, нередко приходится размещать по внешнему обрезу стены. Для того, чтобы его не вывернуло и не скинуло со стены, он должен быть закреплен скобами к деревянным пробкам стены или анкерами (ершами), забитыми в стену. Само стропило к мауэрлату тоже крепится скобами или унифицированными стальными пластинами, которые дают возможность правильно работать шарнирно подвижной опоре (ползуну) и не вызывать распора на мауэрлат и стену. Мауэрлат в такой схеме работает только на распределение вертикальной нагрузки, поэтому вязать его в жесткую раму или намертво крепить к стене не нужно, просто надо закрепить его скобами к деревянным пробкам заложенным в стену, анкерами или ершами, чтобы его не расшвелело трение, возникающее в ползуне.

Вводя в конструкцию стропильной системы схватку, мы превращаем стропило из однопролетной балки в неразрезную двухпролетную. При равномерно распределенной нагрузке на обоих скатах крыши схватка зажимается прогибом стропил и становится для них третьей опорой, но если нагрузка на одном из скатов исчезает, она «проваливается» под нагруженным скатом и начинает давить на противоположную стропильную ногу. «Проваливается» даже схватка, прикрепленная к стойкам гвоздевым боем, она начинает вращаться вокруг этого шарнира. Поэтому расчет стропила нужно производить по двум состояниям, рассматривая его как двухпролетную балку на трех и однопролетную — на двух опорах. Для подбора сечения выбирается наибольшее значение изгибающего момента, можно заранее сказать, что это будет момент на однопролетной балке, рассчитываемый по формуле: $M = qL^2/8$. Прогиб стропила тоже проверяется на всей длине стропильной ноги. В общем, наличие в такой расчетной схеме схватки ничего не дает для увеличения несущей способности. Она — страховка от потери устойчивости и не более того.

Сечение схватки в расчете не нуждается и принимается конструктивно. А вот расчет соединения схватки со стропилом производится на максимально возможную боковую нагрузку $N_{\text{прп}}$ (рис. 28). Стыкование схватки к стропильным ногам лучше производить в накладку с креплением болтами или гвоздевым боем, так как упор схватки под стропило не всегда оправдан. В обычных условиях схватка не работает, но при изменении нагрузки на скатах может работать как на сжатие, так и на растяжение.

Схема 4. Для подбора сечения однопролетной деревянной балки определяющим часто является прогиб при неполностью используемых напряжениях изгиба. Поэтому однопролетная балка с постоянным сечением обычно бывает не самой экономичной. Неразрезные двухпролетные балки позволяют использовать более экономичные поперечные сечения, чем однопролетные балки той же длины.

Третья опора стропильной ноги — подкос, устанавливается под углом к горизонту не менее 45° и превращает стропило из однопролетной балки в двухпролетную неразрезную. Что позволяет уменьшить сечение стропильной ноги при той же нагрузке, а пролет, перекрываемый двускатной крышей, увеличить до 10 м.

Наслонная стропильная система, опертая на прогон, подкос и мауэрлат, с шарнирно подвижной опорой на мауэрлате — это безраспорная конструкция, статически устойчивая при равномерно распределенной нагрузке. Если нагрузка на одном из скатов уменьшится, то система становится статически неустойчивой. Поэтому такую стропильную систему лучше делать с шарнирно неподвижной опорой на мауэрлате (с врубкой конца стропила зубом или подшивкой опорного бруска) либо оставлять опору шарнирно подвижной (ползун), но стропила делать без кобылок с выносом их за обрез стены (рис. 30).

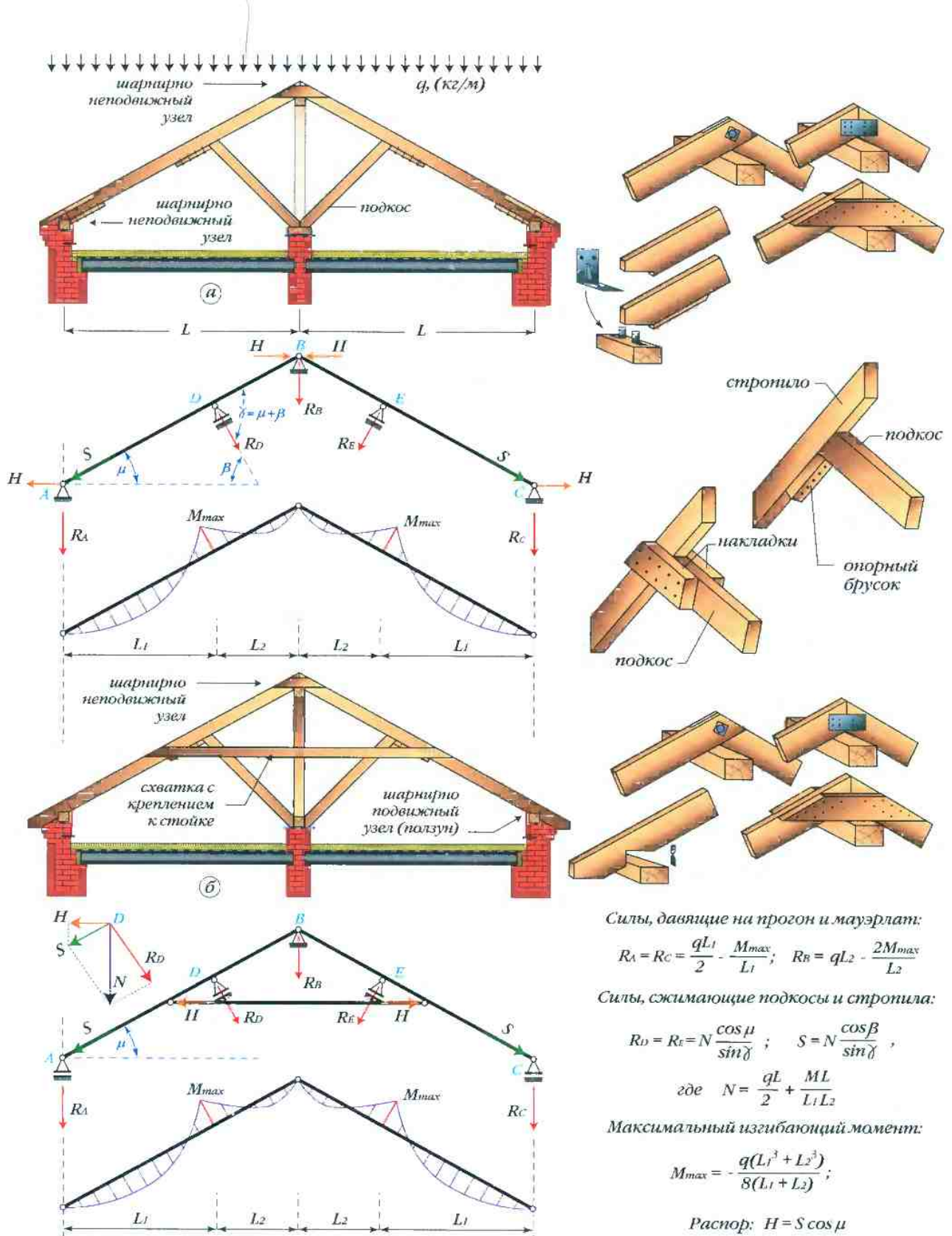


Рис. 30. Схемы наклонных стропил с подкосами: а — распорная схема; б — безраспорная

Если низ стропила сделать с врубкой зубом или подшивкой опорного бруска, то стропильная система становится распорной. Следовательно, мауэрлат должен быть связан в жесткую раму и надежно прикреплен к стене. Врубки низа стропильных ног рассчитывают на скол древесины или на срез и выдергивание креплений опорного бруска.

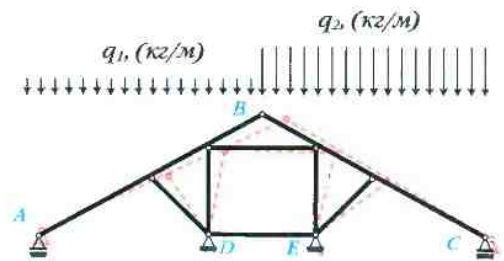
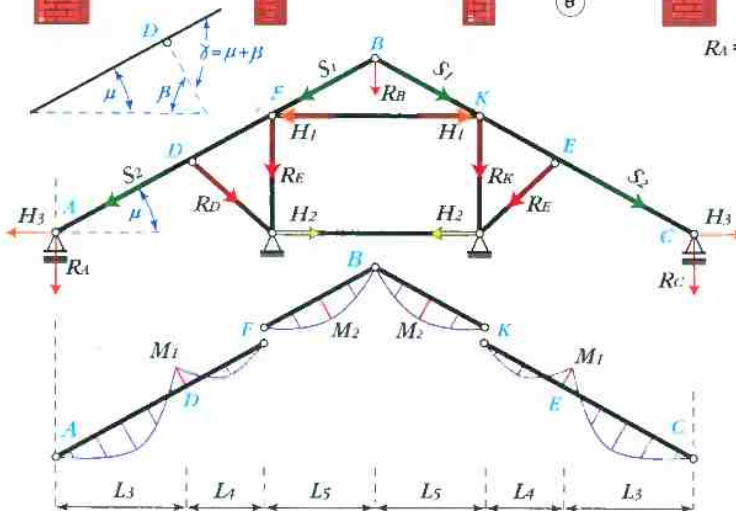
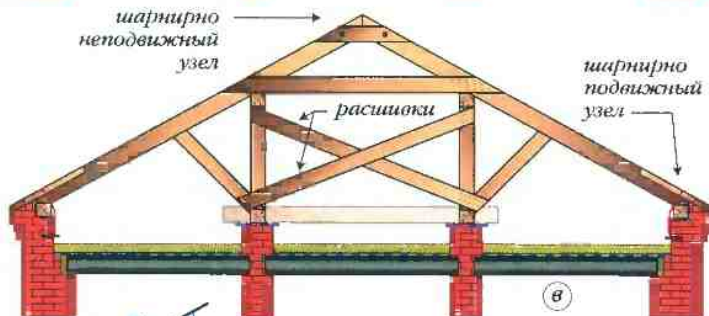
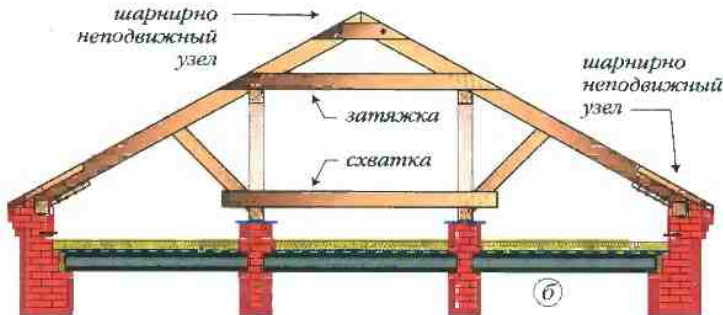
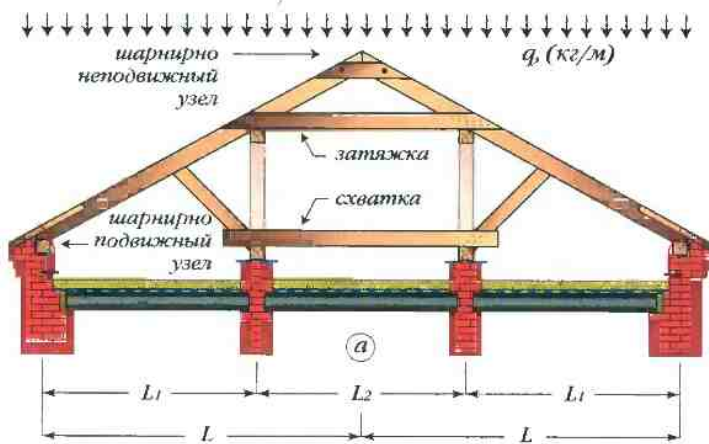
Если принимается решение отказа от кобылок и выноса концов стропила за стену, то в схему стропильной системы нужно вводить ригель-схватку. Вышедшую из равновесия крышу врубки вынесенных за стену стропил не удержат. Когда крыша «пойдет» (по аналогии с рис. 20) в сторону ската с большей нагрузкой, стойки потеряют вертикальность, стропила менее загруженного ската зацепятся врубками за мауэрлат и стропильные ноги раскроются, как пожницы. Для того чтобы этого не произошло, между двумя противоположными стропилами и устанавливается схватка. Чем ниже она будет установлена, тем лучше. Схватка, в этом случае, чисто конструктивный элемент и при равномерно распределенной нагрузке она не работает, так как сжимающие напряжения принимают подкосы, но стоит системе попытаться выйти из равновесия, как схватка начинает работать на растяжение. Сечение схватки в данной схеме принимают конструктивно, обычно равным сечению стропил. Крепление ее к стропилам болтами или гвоздями нужно рассчитать на срез болтов (гвоздей). Система хоть и является безраспорной, усилие для расчета узла соединения схватки со стропилом нужно принимать равным величине распора, как будто он там есть. Для увеличения жесткости стропильной системы схватки в местах пересечения со стойками подстропильной конструкции можно закрепить гвоздями. Мауэрлат не обязательно крепить к стене намертво, достаточно в местах стыковок скрепить бруска в поддерева и прикрепить его скобами к деревянным пробкам, заложенным в стену. Однако, более надежно закрепленный мауэрлат, только подстрахует крышу.

Крепление подкоса к стропильной ноге делают с прибавлением дополнительного опорного бруска или с использованием накладок. Накладки выпиливают из обрезков стропил. Гвоздевые соединения не рассчитываются, а выполняются конструктивно. Стропильная нога под нагрузкой от веса кровли, а зимой еще и от веса снега, даст небольшой прогиб и зажмет подкос. Если примыкание подкоса к стропильной ноге и лежню сделано хорошо и без зазоров, то нагрузка будет сразу передаваться на подстропильную ногу и дальше на брус лежня. Расчет узла не нужен. Накладки или опорный брусок служат, чаще всего, лишь вспомогательными элементами, удерживающими подкос в проектом положении.

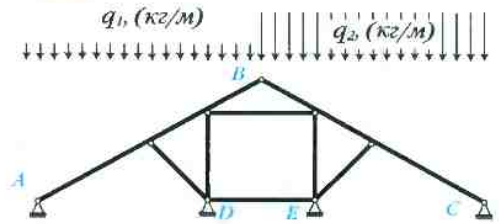
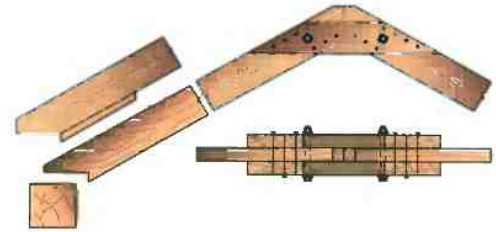
Схема 5. В зданиях, имеющих две внутренних несущих стены, используют подстропильные конструкции, состоящие из сквозных прогонов, опертых через бруска стоек на лежень и далее на внутренние стены (рис. 31).

Коньковый узел получается стыкованием верха стропильных ног друг в друга и связкой двумя деревянными или стальными накладками. В отличие от предыдущих схем под коньковым узлом нет прогона, а это автоматически подразумевает наличие в стропильной системе распора. Для его нейтрализации устанавливают затяжку на уровне верха сквозных прогонов. Она будет работать на растяжение и перехватывать распор. Схватка, установленная по низу стоек подстропильной системы, работает на сжатие и удерживает подстропильные конструкции от «складывания» внутрь чердака. Этими схватками не обязательно обвязывать каждую пару низа подкосов или стоек, если подстропильные ноги упираются в лежень зубом или подшивкой опорного бруска, то схватки можно устанавливать через один или два шага стропил, но сжимающая нагрузка должна быть тогда соответственно удвоена или утроена.

При действии равномерно распределенной нагрузки вся стропильная система вполне устойчива, но при уменьшении нагрузки на одном из скатов, теряет устойчивость и «ползет» в сторону с высокой нагрузкой. Для придания стропильной системе статической устойчивости при любом сочетании нагрузок можно заменить ползучие низа стропильных ног на шарнирно неподвижные опоры либо оставить их шарнирно подвижными и крест-накрест связать две подстропильные рамы. Такое конструктивное решение направлено только на придание стропильной системе устойчивости вследствие уменьшения нагруз-



При возникновении неравномерной нагрузки стропильная система теряет устойчивость



Замена опоры низа стропильных ног с ползуна на неподвижный шарнир или ввод в систему расшивок делает ее статически устойчивой

Вертикальные силы в узловых точках:

$$R_1 = R_C = \frac{qL_3}{2} - \frac{M_1}{L_3}; \quad R_B = qL_2; \quad R_E = R_K = \frac{q(L_2 + L_4)}{2} - \frac{M_1}{L_4}$$

Силы, сжимающие подкосы и стропила:

$$R_D = R_E = N \frac{\cos \mu}{\sin \gamma}; \quad S_1 = \frac{qL_2}{2 \sin \mu}; \quad S_2 = N \frac{\cos \beta}{\sin \gamma},$$

$$\text{где } N = \frac{qL_1}{2} + \frac{M_1 L_1}{L_3 L_4}$$

Изгибающие моменты:

$$M_1 = -\frac{q(L_3^3 + L_4^3)}{8(L_3 + L_4)}; \quad M_2 = \frac{qL_5^2}{8}$$

$$\text{Распоры: } H_1 = S_1 \cos \mu; \quad H_3 = S_2 \cos \mu$$

$$\text{Сжимающая схватка: } H_2 = R_D \cos \beta$$

Примечание: распор H_3 действителен только для схемы б

Рис. 31. Стропильные системы на двух прогонах: а — статически неустойчивая; б, в — статически устойчивые распорные (б) и безраспорные (в)

ки на одном из скатов, поэтому располагать расшивки крест-накрест в каждом месте установки стоек не нужно. Будет вполне достаточным разместить их в двух-трех местах.

В первом случае стропильная система становится распорной и передает силу распора на мауэрлат и стены. Соответственно мауэрлат нужно жестко закреплять на массивных стенах, а на стенах из легких материалов делать для его крепления и принятия распора монолитный железобетонный пояс. Во втором случае распор на стены не передается, но нужно дополнительно связывать стойки подстропильных конструкций. Здесь мауэрлат крепится к стенам конструктивно, он будет только перераспределять на стены вертикальную нагрузку. Нельзя сказать, что в ползунах совсем отсутствуют горизонтальные напряжения, они там, конечно, возникают от сил трения. Однако эти напряжения несравнимо меньше распора, поэтому и крепление мауэрлата можно делать проще.

При значительном увеличении длины стропил часто приходится соединять между собой короткие доски (бруски), так как поставляемые балки из сплошной древесины не имеют длины, требуемой для многопролетных балок. Жесткие на изгиб стыки могут выполняться, например, с помощью накладок из дерева, плоской или профилированной стали (средства крепления: гвозди, стержни, шпонки особой конструкции) или с помощью зубчатого стыкования всего поперечного сечения.

Но можно поступить и по-другому, применить разрезные стропильные ноги (рис. 32). Удобнее всего стыковать стропила на прогоне. Уникальность замены неразрезной стропильной ноги на разрезную состоит в том, что сверху стропильной системы можно уста-

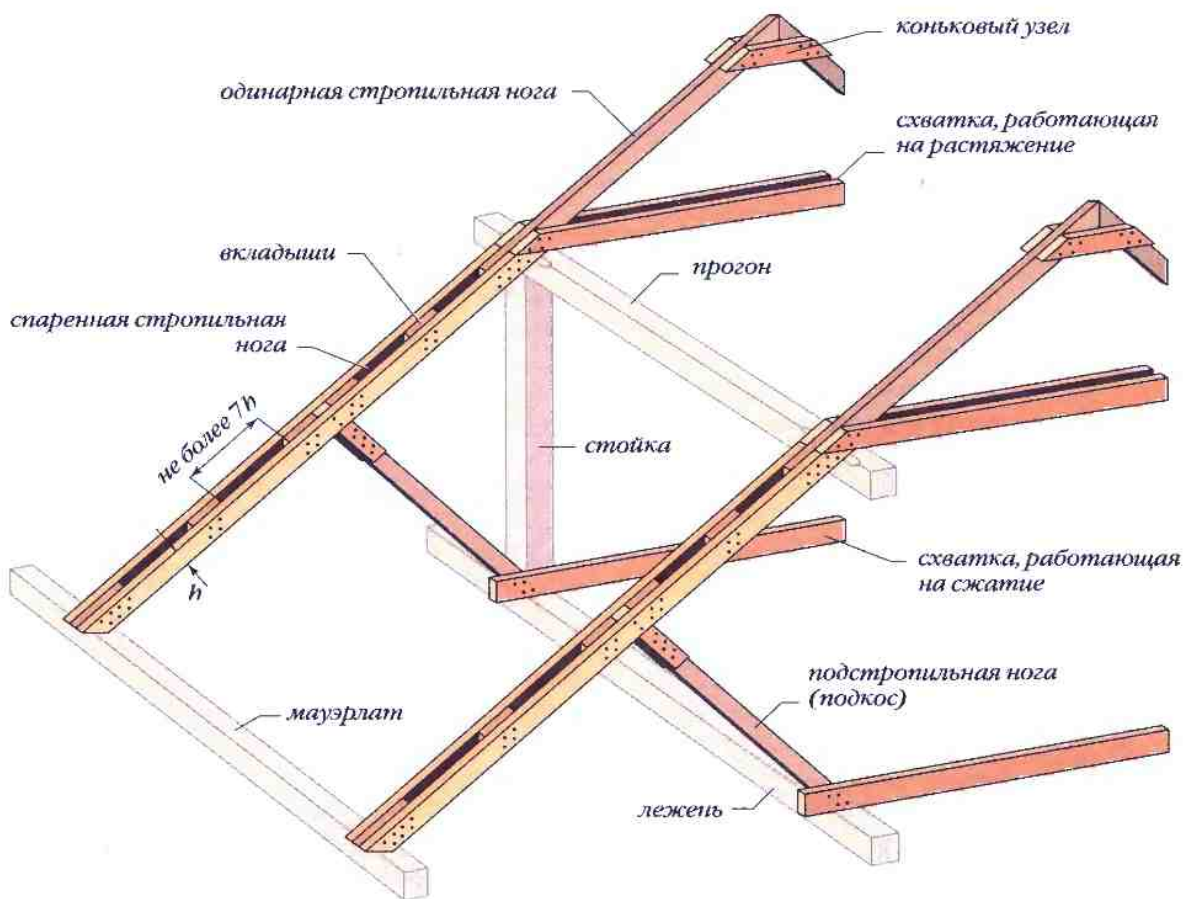


Рис. 32. Составные стропила

новить одинарные стропила, а внизу спаренные, раздвинутые на толщину верхнего стропила. Такой подбор стропил позволяет экономить материал и легко релатировать конструкции узлов соединения между собой и с ригелем-схваткой. Вкладыши между стропилинами вставляем из обрезков стропильных ног, но так, чтобы расстояние между ними (в свету) было не более 7 высот спланируемых досок. Тогда гибкость спаренной стропилины между вкладышами будет равна нулю, то есть стропильная нога будет работать, как цельная. Длина самих вкладышей может быть произвольной, но не менее 2 высот досок.

* * *

Еще раз необходимо отметить, что фраза «статически неустойчивая стропильная система» относится только к двускатным щипцовым крышам. Если фронтоны здания сделаны из того же материала, что и стены либо применяется вальмовая двускатная крыша, то все вышеприведенные схемы вполне статически устойчивы и никаких особых мероприятий по поддержанию устойчивости в них проводить не нужно. В двускатных крышах с фронтонами, сделанными из материала стен, прогоны можно опереть на фронтоны и лишить их возможности горизонтального смещения. В вальмовых крышах установкой

Расчетные сопротивления древесины сосны (кроме веймутовой), ели, лиственниц европейской и японской¹

Таблица 8

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления для сортов древесины, кг/см ²		
		1	2	3
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:				
а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах б, в) высотой до 50 см	R _{изг} , R _{сж} , R _{см}	140	130	85
б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см	R _{изг} , R _{сж} , R _{см}	150	140	100
в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13 до 50 см	R _{изг} , R _{сж} , R _{см}	160	150	110
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	R _{изг} , R _{сж} , R _{см}	—	160	100
2. Растяжение вдоль волокон:				
а) неклееные элементы	R _{рас}	100	70	—
б) клееные элементы	R _{рас}	120	90	—
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	R _{сж90} , R _{см90}	18	18	18
4. Смятие поперек волокон местное:				
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	R _{см90}	30	30	30
б) под шайбами при углах смятия от 90 до 60°	R _{см90}	40	40	40
5. Скалывание вдоль волокон:				
а) при изгибе неклееных элементов	R _{ск}	18	16	16
б) при изгибе клееных элементов	R _{ск}	16	15	15
в) в лобовых врубках для максимального напряжения	R _{ск}	24	21	21
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	R _{ск}	21	21	21
6. Скалывание поперек волокон:				
а) в соединениях неклееных элементов	R _{ск90}	10	8	6
б) в соединениях клееных элементов	R _{ск90}	7	7	6
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	R _{рас90}	3,5	3	2,5

1- тексты таблиц 8 и 9 приводятся в орфографии СНиП 2.01.07-85 (прим. ред.)

Древесные породы	Коэффициент k для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон $R_{рас}, R_{изг}, R_{сж}, R_{см}$	сжатию и смятию поперек волокон $R_{сж90}, R_{см90}$	скалыванию $R_{ск}$
Хвойные			
Лиственница, кроме европейской и японской	1,2	1,2	1
Кедр сибирский, кроме Красноярского края	0,9	0,9	0,9
Кедр Красноярского края, сосна веймутова	0,65	0,65	0,65
Пихта	0,8	0,8	0,8
Твердые лиственные			
Дуб	1,3	2	1,3
Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
Акация	1,5	2,2	1,8
Береза, бук	1,1	1,6	1,3
Вяз, ильм	1	1,6	1
Мягкие лиственные			
Ольха, липа, осина, тополь	0,8	1	0,8

Расчетные сопротивления пород древесины устанавливаются путем умножения величин, приведенных в таблице 8, на переходные коэффициенты k , указанные в таблице 9.

диагональных стропильных ног и последующей обрешетки тоже можно закрепить прогоны от горизонтального смещения. Однако выполнения только этих условий будет недостаточно. Стыкование брусьев прогонов по длине нужно делать жестким. Иначе концы прогонов будут закреплены в стенах или диагональными стропилами, а середина может получить горизонтальное смещение и вся стропильная система крыши выйдет из равновесия. Устройство жестких узлов стыкования балок прогонов делает стропильную систему устойчивой и позволяет выполнять ее по безраспорным вариантам, то есть отпадает необходимость в различного рода мероприятиях по нейтрализации распора.

Подбор сечения наклонных стропил

Несущая способность древесины хвойных пород (сосны и ели) определяется нормативными документами (таблица 8). Если применяется древесина других пород, то вводится поправочный коэффициент (таблица 9). Несущая способность сечений, ослабленных врубками или отверстиями под болты, должна рассчитываться с коэффициентом 0,8 от нормативной несущей способности древесины.

Основными факторами, определяющими сорт и соответственно прочность древесины, являются величина и расположение пороков, главным образом сучков и наклона волокон в элементе. Например, в наиболее прочной древесине 1-го сорта допускаются сучки общим диаметром на длине 20 см, не более 1/4 ширины доски и наклон волокон не более 7%. В древесине средней прочности 2-го сорта допускается относительно большая общая ширина сучков — до 1/3 ширины доски и наклон волокон не более 10% к оси. В наименее прочной древесине 3-го сорта допускаются сучки еще большей ширины на длине 20 см: до 1/2 ширины и наклон волокон не более 12%.

Кроме того, в конструкционной древесине годовые слои должны быть не шире 5 мм, и поздняя, наиболее прочная древесина должна составлять не менее 1/5 их ширины. В досках, работающих на ребро при изгибе, не допускается рыхлая сердцевина. В зонах соединений не допускаются трещины.

Для сжатого-изогнутых, изогнутых и сжатых деревянных конструкций допускается применять древесину 2 сорта (если сортность не завышена продавцом). Дерево неплохо работает на изгиб и сжатие, а сучковатость второсортной древесины не влияет на ее несущую способность. Для растянутых конструкций нужно применять древесину 1 сорта. На растяжение дерево работает хуже, а сучки снижают его несущую способность, но для утилизации материалов допускается применение 2 сорта.

Подбор сечений стропил нужно согласовывать с размером стандартных пиломатериалов (таблица 10). Длину пиломатериалов для неразрезных несущих конструкций зданий рекомендуется применять не более 6,5 м.

Для расчета сечений стропил нам понадобятся максимальные изгибающие моменты, они на схемах обозначены буквой М и сжимающие силы S, они нарисованы зелеными стрелками. Для расчета сечения ригеля-схватки, работающей на растяжение и сжатие, силы помечены буквой Н и оранжевым цветом вектора — растянутый, желтым — сжатый элемент. В расчетах сечения прогонов, а в конечном итоге, стоек и в расчетах подкосов применена буква R и красный цвет вектора.

Расчет конструктивных элементов крыши.

На крышах с уклоном скатов до 30° стропила считаются изгибаемыми элементами. Балка, работающая на изгиб, должна отвечать следующим условиям.

1. Внутреннее напряжение, возникающее в ней при изгибе от приложения внешней нагрузки, не должно превышать расчетного сопротивления древесины на изгиб:

$$\sigma = M/W \leq R_{изг}, \quad (1)$$

где σ — внутреннее напряжение, кг/см²; М — максимальный изгибающий момент, кг×м (кг×100 см); W — момент сопротивления сечения стропильной ноги изгибу $W = bh^2/6$, см³;

Сортамент пиломатериалов по государственному стандарту

Таблица 10

Толщина, мм	Ширина, мм								
	75	100	125	150	175	200	225	250	275
16	75	100	125	150	175	200	225	250	275
19	75	100	125	150	175	200	225	250	275
22	75	100	125	150	175	200	225	250	275
25	75	100	125	150	175	200	225	250	275
32	75	100	125	150	175	200	225	250	275
40	75	100	125	150	175	200	225	250	275
44	75	100	125	150	175	200	225	250	275
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100		100	125	150	175	200	225	250	275
125			125	150	175	200	225	250	
150				150	175	200	225	250	
175					175	200	225	250	
200						200	225	250	
250							225	250	

Примечание. При целевом заказе на пилорамах допускается изготавливать пиломатериалы с размерами сечения, не указанными в таблице и длиной более 6,5 м, вплоть до 9 м.

$R_{изг}$ — расчетное сопротивление древесины изгибу, кг/см² (принимается по таблице 8);

2. Величина прогиба балки не должна превышать нормируемого прогиба:

$$f = 5qL^4/384EJ \leq f_{нор}, \quad (2)$$

где E — модуль упругости древесины, для ели и сосны он составляет 100 000 кг/см²; J — момент инерции (мера инертности тела при изгибе), для прямоугольного сечения равный $bh^3/12$ (b и h — ширина и высота сечения балки), см⁴; $f_{нор}$ — нормируемый прогиб балки, для всех элементов крыши (стропил, прогонов и брусков обрешетки) он составляет $L/200$ ($1/200$ длины проверяемого пролета балки L), см.

Сначала выбирается расчетная схема (рис. 19, 26, 27, 29, 30) стропильной системы и просчитываются изгибающие моменты M (кг×см). Если на схеме изображено несколько моментов, то просчитываются все и выбирается наибольший. Если крыша будет с разными длинами скатов, то моменты просчитываются для каждого ската в соответствии с длинами пролетов и нагрузкой.

Далее путем несложных математических преобразований формулы (1), которые мы опускаем, получаем, что размеры сечения стропила можно найти, задавшись одним из его параметров. Например, произвольно задавая толщину доски или бруса, из которых будет изготовлена стропильная нога, находим ее высоту по формуле:

$$h = \sqrt{6W/b}, \quad (3)$$

где b (см) — ширина сечения стропила; W (см³) — момент сопротивления балки изгибу, вычисляется по формуле: $W = M/R_{изг}$ (где M (кг×см) — максимальный изгибающий момент, а $R_{изг}$ — сопротивление древесины изгибу, для ели и сосны $R_{изг} = 130$ кг/см²).

Можно и наоборот, произвольно задать высоту стропила и найти его ширину:

$$b = 6W/h^2.$$

После этого стропило с вычисленными параметрами ширины и высоты по формуле (2) проверяют на прогиб. Здесь необходимо заострить ваше внимание: по несущей способности стропило рассчитывается по наибольшему напряжению, то есть по максимальному моменту изгиба, а на прогиб проверяется сечение, которое находится на наиболее длинном пролете, то есть на участке, где самое большое расстояние между опорами. Прогиб для всех: одно-, двух- и трехпролетных балок чаще всего проверяется по формуле (2) то есть, как для однопролетных балок на расстояниях между опорами.

Если прогиб на самом длинном участке будет не более $L/200$, то сечение оставляют таким, каким оно получилось. При прогибе больше нормативного, увеличиваем высоту стропила или подводим под него подкос или прогон, но сечение стропил нужно вновь пересчитать по соответствующей расчетной схеме. Если принимаем решение увеличить высоту стропила, то делаем это по формуле, полученной путем преобразований формулы прогиба (2) относительно момента инерции. Зная ширину стропила, находим его высоту:

$$h = \sqrt[3]{12J/b} \quad (4)$$

Расчет совсем несложен, самое главное, не запутаться в единицах измерений. В конечном итоге появятся всего две цифры: требуемая для данной нагрузки ширина и высота стропильной ноги, которые округляют в большую сторону до целого числа.

Пример расчета сечения стропила, работающего на изгиб (рис. 29, б).

Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет 150 кг/м (1,5 кг/см); длина пролета (в горизонтальной проекции) равна 4,5 м ($L_1 = 3$ м, $L_2 = 1,5$ м). Крепление ригеля к стропильной ноге произведем болтами (не захотелось «мочалить» конец ригеля гвоздевым боем), следовательно расчетное сопротивление древесины второго сорта изгибу по ослабленному сечению составит $0,8R_{изг} = 0,8 \times 130 = 104$ кг/см².

Решение:

1. Рассчитываем величину максимального изгибающего момента (знак минус означает, что изгиб направлен навстречу приложенной нагрузке):

$$M = -q(L_1^3 + L_2^3)/8(L_1 + L_2) = -150(3^3 + 1,5^3)/8(3 + 1,5) = -127 \text{ кг}\times\text{м} = -12700 \text{ кг}\times\text{см}$$

2. Находим требуемый момент сопротивления стропильной ноги изгибу:

$$W = M/R_{изг} = 12700/104 = 122,2 \text{ см}^3$$

3. Обычно стропила изготавливают из досок толщиной 50 мм. Не будем оригинальными и примем ширину стропила $b = 5 \text{ см}$. Найдем его высоту по требуемому моменту сопротивления:

$$h = \sqrt{6W/b} = \sqrt{6 \times 122,2/5} = \sqrt{147} = 13 \text{ см}$$

4. Получаем размеры сечения стропила $b = 5 \text{ см}$, $h = 13 \text{ см}$. Сверяем их с ГОСТовскими размерами пиломатериала. Ближайший удовлетворяющий нас размер $50 \times 150 \text{ мм}$. Если не хотим заниматься поисками пиломатериала для изготовления нестандартного размера досок, то принимаем размеры досок по ГОСТу — $50 \times 150 \text{ мм}$.

5. Проверяем полученное сечение стропил на прогиб в пролете $L_1 = 3 \text{ м} = 300 \text{ см}$.

Сначала находим момент инерции выбранного сечения стропильной ноги:

$$J = bh^3/12 = 5 \times 15^3/12 = 1406,25 \text{ см}^4$$

Затем находим нормативный прогиб:

$$f_{нор} = L/200 = 300/200 = 1,5 \text{ см}$$

Рассчитываем прогиб от действия нашей нагрузки на данном пролете (не забываем про единицы измерения: нагрузка q в $\text{кг}/\text{см}$):

$$f = 5qL^4/384EJ = 5 \times 1,5 \times 300^4/384 \times 100000 \times 1406,25 = 1,125 \text{ см}$$

Расчетный прогиб стропила 1,125 см получился меньше нормативного 1,5 см, значит, выбранное сечение стропила $50 \times 150 \text{ мм}$ вполне нас удовлетворяет, из этой доски и будем строить крышу.

Если расчетный прогиб получился бы больше нормативного, то рассчитывать его новую высоту нужно по формуле (4)



Рис. 33. Пример сращивания стропил

При больших нагрузках и длинных пролетах устанавливают сдвоенные, строганные и четверные стропильные ноги (рис. 33).

На крышах с уклоном скатов более 30° стропила считаются сжато-изгибаемыми элементами. На их работу оказывает влияние не только изгибающий момент от равномерно распределенной нагрузки, но и сжимающее усилие S , действующее вдоль оси стропила.

Здесь расчет немного посложнее. Внутренние напряжения σ ($\text{кг}/\text{см}^2$), возникающие в стропильной ноге, не должны превышать предельно допустимых значений:

$$\sigma = S/F + M/W \leq R_{сж}, \quad (5)$$

где S — сжимающая сила, действующая вдоль продольной оси стропила, кг ; $R_{сж}$ — сопротивление древесины сжатию, для хвойных пород дерева

$R_{сж} = 130 \text{ кг}/\text{см}^2$; F — площадь сечения стропила $b \times h$, см^2 ; W — момент сопротивления сечения стропильной ноги изгибу $W = bh^2/6$, см^3 ; M — максимальный момент изгиба, возникающий в стропильной ноге, $\text{кг}\times\text{м}$.

Как видим, формула не очень сложная, но математическому упрощению поддается плохо. Поэтому, легче всего, рассчитать требуемые сечения стропил методом подбора. Задаемся каким-либо сечением стропила и подставляем значения высоты h и ширины b в формулу (5). Если напряжение σ получилось значительно меньше нормативного $R_{сж}$, уменьшаем сечение стропила (b , h), если больше — увеличиваем и пересчитываем формулы вновь с измененными размерами сечения стропильной ноги. И так до тех пор, пока не подберем такое сечение, напряжение σ в котором будет близко к нормативному $R_{сж}$.

Если высота стропил получается слишком большой, можно установить под них подкос или прогон или заменить одинарную стропильную ногу на спаренную. Есть и другой спо-

соб уменьшения сечения стропильных ног: сократить шаг установки стропил и тем самым снизить расчетную нагрузку.

При использовании спаренных стропильных ног, раздвинутых на толщину применяемого пиломатериала (рис. 32), момент инерции J и момент сопротивления W просто удваиваем относительно одинарной стропилины. Хотя это немного неправильно, но создает дополнительный запас прочности.

После того как сечение подобранно по несущей способности, стропило проверяют на прогиб. Его рассчитывают, как и в предыдущем примере, на самом длинном участке стропильной ноги по формуле (2). Если стропило с рассчитанным сечением не проходит по условиям прогиба, увеличивают его сечение (чаще всего, высоту) и делают это до тех пор, пока расчетный прогиб не станет меньше нормативного — $L/200$.

Почему такое внимание уделяется расчету на прогиб, если балки (стропила, прогоны и пр.) проходят по прочности? Если не погружаться в глубины курса сопротивления материалов, то на первый план выходит психологический аспект проблемы из разряда «не верь глазам своим». Вы никому не докажете, что балка с визуально заметным прогибом вот-вот не рухнет, будь она хоть с троскратным запасом прочности. Вы согласились бы жить в квартире, например, с прогнувшимися плитами перекрытия?

Пример расчета сечения стропила, работающего на сжатие с изгибом (рис. 30, б).

Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет 150 кг/м ($1,5 \text{ кг/см}$); длина пролета (в горизонтальной проекции) равна 6 м ($L_1 = 3,5 \text{ м}$, $L_2 = 2,5 \text{ м}$). Крепление ригеля к стропильной ноге произведем гвоздями, расчетное сопротивление древесины второго сорта изгибу и сжатию составит $R_{изг} = 130 \text{ кг/см}^2$, $R_{сж} = 130 \text{ кг/см}^2$. Угол наклона скатов $\mu = 35^\circ$, угол установки подкоса $\beta = 45^\circ$, следовательно $\gamma = \beta + \mu = 80^\circ$

Решение:

1. Рассчитываем величину максимального изгибающего момента:

$$M = -q(L_1^3 + L_2^3)/8(L_1 + L_2) = -150(3,5^3 + 2,5^3)/8(3,5 + 2,5) = -183 \text{ кг}\cdot\text{м} = -18300 \text{ кг}\cdot\text{см}$$

2. Находим сжимающее усилие, действующее вдоль оси стропильной ноги. Сначала определяем вертикальную составляющую:

$$N = qL/2 + ML/L_1L_2 = 150 \times 6/2 - 183 \times 6/3,5 \times 2,5 = 325 \text{ кг},$$

затем сжимающее усилие:

$$S = N \cos \beta / \sin \gamma = 325 \times \cos 45^\circ / \sin 80^\circ = 325 \times 0,707 / 0,985 = 234 \text{ кг}$$

3. Произвольно задаем сечение стропила, например, это будет доска $50 \times 150 \text{ мм}$ ($5 \times 15 \text{ см}$).

Находим момент сопротивления изгибу сечения стропильной ноги:

$$W = bh^2/6 = 5 \times 15^2/6 = 188 \text{ см}^3$$

4. Находим внутреннее напряжение, возникающее в стропильной ноге от действия изгибающих и сжимающих сил σ .

Подставляем все рассчитанные величины в формулу (5) и сравниваем с расчетным сопротивлением древесины сжатию $R_{сж} = 130 \text{ кг/см}^2$:

$$\sigma = S/F + M/W = 234/(5 \times 15) + 18300/188 = 102,5 \text{ кг/см}^2$$

Как видим, внутреннее напряжение $\sigma = 102,5 \text{ кг/см}^2$ меньше расчетного сопротивления древесины сжатию $R_{сж} = 130 \text{ кг/см}^2$, значит с выбором сечения доски по прочности угадали с первой попытки. Попыток может быть больше.

5. Проверяем полученное сечение стропил на прогиб в пролете $L_1 = 3,5 \text{ м} = 350 \text{ см}$.

Сначала находим момент инерции выбранного сечения стропильной ноги:

$$J = bh^3/12 = 5 \times 15^3/12 = 1406,25 \text{ см}^4$$

Затем находим нормативный прогиб:

$$f_{нор} = L/200 = 350/200 = 1,75 \text{ см}$$

Рассчитываем прогиб от действия нагрузки на данном пролете:

$$f = 5qL^4/384EJ = 5 \times 1,5 \times 350^4/384 \times 100000 \times 1406,25 = 2,08 \text{ см}$$

Расчетный прогиб стропила $2,08 \text{ см}$ получился больше нормативного $1,75 \text{ см}$, значит, выбранное сечение стропила $50 \times 150 \text{ мм}$ достаточно по прочности, но не проходит по прогибу. Нужно увеличи-

вать сечение стропила. Можно увеличить высоту, взяв по сортаменту пиломатериалов следующую доску 17,5 см, а можно взять доску шириной 6 см, оставив прежнюю высоту 15 см.

6. Задаемся сечением стропила 50×175 мм (5×17,5 см) и 60×150 мм (6×15 см). Расчет на прочность пропускаем: и так ясно, что доски с большим сечением его пройдут. Проверяем их только на прогиб.

Находим момент инерции, вновь выбранных сечений стропильной ноги:

$$J_1 = bh^3/12 = 6 \times 15^3/12 = 1687,5 \text{ см}^4; J_2 = bh^3/12 = 5 \times 17,5^3/12 = 2233,1 \text{ см}^4$$

и проверяем их на прогиб:

$$f_1 = 5qL^4/384EJ_1 = 5 \times 1,5 \times 350^4/384 \times 100000 \times 1687,5 = 1,74 \text{ см}$$

$$f_2 = 5qL^4/384EJ_2 = 5 \times 1,5 \times 350^4/384 \times 100000 \times 2233,1 = 1,31 \text{ см}$$

Оба вновь выбранных сечения удовлетворяют требованиям прогиба (меньше $f_{\text{нор}} = 1,75 \text{ см}$), но сечение 50×175 мм более экономичное (меньше кубатура пиломатериала) и дает меньший прогиб.

В работу принимаем сечение стропильных ног 50×175 мм.

Ригель-схватка, работающая на растяжение. Обычно этот расчет выполняют после подбора сечений стропильных ног и для сокращения типоразмеров применяемых деталей, сечение схватки принимают таким же, как и сечение стропильных ног, а затем проверяют его по несущей способности на растяжение:

$$\sigma = N/F \leq R_{\text{рас}}, \quad (6)$$

где N — растягивающая сила (в наших расчетных схемах это горизонтальные векторы оранжевого цвета), кг; F — площадь сечения схватки $F = b \times h$, см²; $R_{\text{рас}}$ — расчетное сопротивление древесины растяжению, для первосортной ели и сосны $R_{\text{рас}} = 100 \text{ кг/см}^2$.

Расчет чрезвычайно прост. Задаются размерами схватки b и h , равными размерам стропильных ног, подставляют их в формулу и полученное напряжение σ сравнивают с допустимым сопротивлением древесины растяжению $R_{\text{рас}}$. Если требование неравенства выполняется, делают одностороннюю схватку, если внутреннее расчетное напряжение σ больше $R_{\text{рас}}$, то сечение схватки увеличивают либо ригели устанавливают с двух сторон.

Но можно и по-другому, при необходимости определения точного размера сечения схватки задаются каким-нибудь одним размером — толщиной b или высотой h доски ригеля и находят другой размер по формулам:

$$b = N/hR_{\text{рас}} \text{ или } h = N/bR_{\text{рас}} \quad (7)$$

После расчета сечения ригеля производят расчет гвоздевого или болтового соединения. При расчете гвоздевого соединения после определения требуемого количества гвоздей смотрим, поместятся ли они на конце ригеля. Если не помещаются, то рассматриваем возможность установки двусторонней схватки с уменьшенным сечением либо изменяем способ крепления схватки с гвоздей на болты. Тогда сечение стропильной ноги должно быть пересчитано на ослабленное сечение, с учетом изменения расчетного сопротивления $R_{\text{изг}}$, к которому нужно применить коэффициент 0,8.

В большинстве случаев, растягивающие напряжения в ригелях ничтожно малы, поэтому размеры их сечений принимаются конструктивно. Чего не скажешь про крепление их к стропилам, которое нужно обязательно рассчитывать. Если узлы рассчитываются на крепление гвоздями, то получается очень большое количество гвоздей, которые нужно вбить в маленький «пятячок». Многие строители наверняка видели чертежи узлов деревянных конструкций с просто огромным количеством гвоздей, назначенных туда по расчету. Вот только кто из них забил их ровно столько, сколько показывает расчет? Для устройства нормального узла, отвечающего требованиям прочности, гвоздевые соединения в этих случаях, лучше заменять на болтовые или делать крепление стальными монтажными пластинами. И прочностные характеристики не будут нарушены, и конец ригеля не будет превращен гвоздевым босом в мочалку.

Пример расчета сечения схватки, работающей на растяжение (рис. 30, б, 31, б).

1. Пример (рис. 29, б). Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет 150 кг/м (1,5 кг/см); длина пролета (в горизонтальной проекции) равна 6 м ($L_1 = 3,5 \text{ м}$, $L_2 = 2,5 \text{ м}$). Угол накло-

на скатов $\mu = 35^\circ$, угол установки подкоса $\beta = 45^\circ$, следовательно $\gamma = \beta + \mu = 80^\circ$. Сопротивление древесины 2 сорта растяжению $R_{\text{рас}} = 70 \text{ кг/см}^2$

Решение:

1. Находим сжимающее усилие, действующее вдоль оси стропильной ноги.

Сначала определяем вертикальную составляющую:

$$N = qL/2 + M_2L/L_1L_2 = 150 \times 6/2 + 183 \times 6/3,5 \times 2,5 = 325 \text{ кг},$$

затем сжимающее усилие:

$$S = N \cos \beta / \sin \gamma = 325 \times \cos 45^\circ / \sin 80^\circ = 325 \times 0,707 / 0,985 = 234 \text{ кг}$$

2. В данной расчетной схеме схватка — конструктивный элемент, работающий только при изменении нагрузки с равномерно распределенной на неравномерно распределенную. В критическом случае усилие на растяжение схватки может достигнуть максимального значения, равного величине распора. Поэтому в расчетной схеме вычисляем величину распора, которого в нормальных условиях работы крыши нет:

$$H = S \cos \mu = 234 \times \cos 35^\circ = 234 \times 0,819 = 192 \text{ кг}$$

3. Задаемся толщиной пиломатериала $b = 2,5 \text{ см}$ и находим требуемую высоту сечения схватки:

$$h = H/bR_{\text{рас}} = 192/2,5 \times 70 = 1,2 \text{ см}$$

Размер сечения схватки получился мизерным $5 \times 1,2 \text{ см}$. Да в общем-то, чего было еще ожидать от изначально безраспорной конструкции наслонных стропил. Здесь схватки нужны только для экстренного случая: выхода конструкции из равновесия. Поэтому устанавливаем их конструктивно, через 2–3 пары стропильных ног. Они поверху обшиваются обрешеткой и будут работать как единая конструкция. Сечение схваток принимаем любым, например, $2,5 \times 10 \text{ см}$.

4. Схватка толщиной $2,5 \text{ см}$ крепится к стропилу толщиной 5 см , значит нужны гвозди длиной 80 мм диаметром $3,5 \text{ мм}$ ($0,35 \text{ см}$). Гвозди в этом случае рассчитываются на срез (изгиб) по тонкой доске сжимаемого пакета $a = 2,5 \text{ см}$. Несущая способность одного гвоздя:

$$T_{\text{гв}} = 80d_{\text{гв}} + a = 80 \times 0,35 + 2,5 = 30,5 \text{ кг}$$

Для удержания одной схватки от растягивающего усилия 192 кг нужно $192/30,5 = 7$ гвоздей.

Если схватки будут устанавливаться через 2–3 пары стропильных ног, для уменьшения количества вбиваемых гвоздей есть смысл сделать схватки толще, например, из досок толщиной 50 мм . Тогда растягивающее усилие на схватку будет составлять:

$$\text{через два шага, } 192 \times 2 = 384 \text{ кг}$$

$$\text{через три шага, } 192 \times 3 = 576 \text{ кг.}$$

Гвозди применим длиной 100 мм , диаметром 4 мм ($0,4 \text{ см}$). Рабочая длина гвоздя составит:

$$a_0 = 100 - 50 - 2 \cdot 6 = 42 \text{ мм} = 4,2 \text{ см}$$

Несущая способность одного гвоздя:

$$T_{\text{гв}} = 250d_{\text{гв}}^2 + a^2 = 259 \times 0,4^2 + 4,2^2 = 57,6 \text{ кг}$$

Для закрепления схватки через 2 шага стропильных ног потребуется $384/57,6 = 7$ гвоздей с каждого конца, через 3 шага по 10 гвоздей ($576/57,6 = 10$).

2. Пример (рис. 30, б). Дано: расчетная нагрузка на стропильную ногу составляет 350 кг/м ($3,5 \text{ кг/см}$); общая длина пролета (в горизонтальной проекции) равна 14 м ($L_1 = 5 \text{ м}$, $L_2 = 4 \text{ м}$). Угол наклона скатов $\mu = 30^\circ$. Сопротивление древесины 2 сорта растяжению $R_{\text{рас}} = 70 \text{ кг/см}^2$

Решение:

1. Находим сжимающее усилие, действующее вдоль оси стропильной ноги:

$$S_1 = qL_2/2 \sin \mu = 350 \times 4/2 \sin 30^\circ = 1400/2 \times 0,5 = 1400 \text{ кг}$$

затем распор на ригель:

$$H_1 = S_1 \cos \mu = 1400 \times \cos 30^\circ = 600 \times 0,866 = 1213 \text{ кг}$$

2. Произвольно задаем толщину ригеля-схватки $b = 2,5 \text{ см}$ и находим требуемую высоту сечения:

$$h = H/bR_{\text{рас}} = 1213/2,5 \times 70 = 7 \text{ см}$$

И в этом примере размеры сечения схватки получились небольшими: $2,5 \times 7 \text{ см}$. По сортаменту пиломатериалов подходит доска $25 \times 75 \text{ мм}$. Ее и применим.

3. Очевидно, что для крепления схватки к стропилу и растягивающей силы 1213 кг потребуется большое количество гвоздей, поэтому применим винтовое соединение на глухарях. Используем

винты диаметром 14 мм (1,4 см). Расчет необходимо вести по формулам расчета гвоздей на срез, то есть рабочая длина глухаря должна быть принята равной толщине тонкой доски.

Тогда несущая способность одного винта будет:

$$T_{\text{гл}} = 80d_{\text{гл}} + a = 80 \times 1,4 + 2,5 = 114,5 \text{ кг}$$

4. Для крепления схватки потребуются с каждой стороны установить по $1213/114,5 = 11$ винтов, это очень много для доски шириной всего 75 мм. Идем на перерасход пиломатериалов, устанавливаем схватки с двух сторон от стропила и асимметрично крепим их 5 и 6 винтами, либо отказываемся от глухарей и пересчитываем соединение на крепление болтами, либо применяем для схваток более толстые и широкие доски. Любой вариант экономически не выгоден, но отказаться от схватки нельзя, она необходима для правильной работы всей стропильной системы. И слишком тонкую схватку ставить нельзя, ее могут попросту сломать. Поэтому и делают этот элемент, чаще всего, из того же материала, из которого изготавливают стропила.

Схватка, работающая на сжатие. Ее расчет очень похож на расчет ригеля на растяжение с единственной разницей, что напряжение, возникающее в сжатом элементе, сравнивают с сопротивлением древесины сжатию:

$$\sigma = N/F \leq R_{\text{сж}} \quad (8)$$

В остальном, сечение подбирается точно так же, как и в растянутом элементе, по тем же формулам. Либо сечение сжатой схватки принимается равным сечению стропил и сравнивается с нормативным сопротивлением древесины сжатию. Расчет гвоздевого или болтового соединения также аналогичен приведенному выше.

* * *

После расчета стропильных систем и определения геометрических характеристик стропильных ног и ригелей-схваток необходимо рассчитать их вес и добавить его в расчетную нагрузку. Это делается так: зная геометрические параметры элементов стропильной системы, подсчитываем полный объем (м^3) пиломатериалов, требуемых для устройства стропильной системы. Полученную цифру умножаем на объемный вес древесины. Напомним, что объемный вес одного кубометра древесины равен 500–550 $\text{кг}/\text{м}^3$. Получаем вес, измеряемый в $\text{кг}/\text{м}^2$, и прибавляем его к расчетной нагрузке, которая тоже измеряется в $\text{кг}/\text{м}^2$. А дальше вновь пересчитываем всю расчетную схему стропильной системы с учетом добавленной нагрузки от собственного веса стропил.

Подстропильные конструкции

Мансардные крыши. В системах с наслонными стропилами нижний конец стропильных ног опирается на мауэрлат, уложенный на внешние стены здания, а верхний — на прогон или внутреннюю стену, выведенную на требуемую высоту. Для того, чтобы не терять площадь помещения мансарды, внешние стены по периметру поднимают на полэтажа, например, на высоту 1,6–1,8 м, что дает возможность подходить почти в плотную к стене.

В мансардных эксплуатируемых крышах, делая стены и замышляя использовать подкрышное пространство под жилое помещение, правильно спланировав расположение комнат, внутренние стены можно поднять на высоту скатов крыши. Уложить на стены деревянные прогоны, которые в этом случае правильней назвать мауэрлатами и настелить на них стропила. Никаких распоров на стены, никаких подстропильных ног, все подкрышное пространство отдается под жилое помещение. Однако внутренняя стена, поднимающая конек крыши, ограничивает количество вариантов планировки.

Более гибкую планировку мансарды можно получить, заменив внутренние стены на прогоны, опертые двумя концами на фронтоны стен (рис. 34). В качестве прогонов используются мощные брусья, которые нужно рассчитать на прочность и прогиб. В зданиях с большими размерами прогоны получаются длинными и тяжелыми, скорее всего, их придется монтировать подъемным краном либо нужно вместо одного конькового прогона уложить на фронтоны несколько балок. Тогда вероятно (хотя, вряд ли), их можно будет

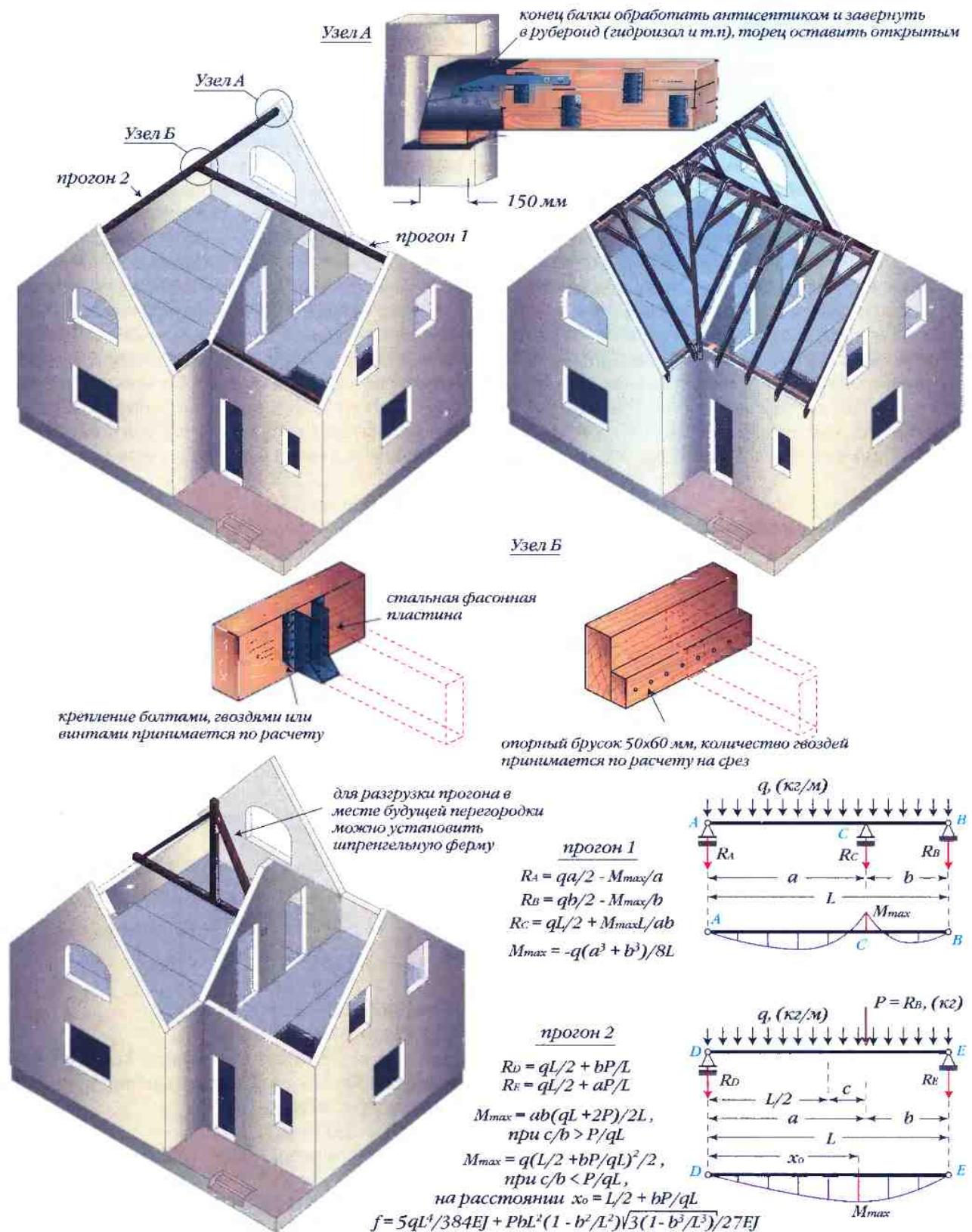


Рис. 34. Мансардная крыша с наслонными стропилами на прогонах

поднять руками и уж точно использовать стропила меньшего сечения, поскольку количество опор под стропилами увеличивается.

Найти ровный брус из цельного дерева длиной более 6 м довольно проблематично, поэтому для этих целей лучше использовать клееную балку или бревно. В любом случае, концы прогонов, замуровываемые в стены фронтонов, нужно обработать антисептиками и завернуть в рулонный гидроизоляционный материал. Торцы цельнодеревянных балок скашивают под углом примерно 60° и оставляют открытыми, в пише они не должны упираться в материал стены. Скашивание конца балки увеличивает площадь торца и способствует лучшему влагообмену всей балки. Если прогон проходит сквозь стену, то в месте опирания на стену, его тоже обматывают гидроизоляционным материалом. Балки пропускают сквозь стены из архитектурных соображений затем, чтобы обеспечить свес кровли над фронтонами, хотя его можно достичь и выносом за степу обрешетки, но это менее красиво. Если использовать в качестве прогона бревно, то его не обязательно отесывать на два канта, достаточно подтесать в месте опирания стропил и в месте опирания прогона на стены. На изгиб, вследствие сохранности волокон, несущая способность бревна выше, чем у бруса и составляет 160 кг/см^2 . Момент инерции и сопротивления крутлого сечения определяется по формулам: $J = 0,0491d^4$; $W = 0,0982d^3$, где d — диаметр бревна в вершине, см. Моменты сопротивления и инерции бревна, отесанного на один кант, равны $J = 0,044d^4$, $W = 0,092d^3$, на два канта — $J = 0,039d^4$; $W = 0,088d^3$, при ширине отеса $d/2$.

Пример расчета сечения прогонов (рис. 34).

Дано: загородный дом $10,5 \times 7,5$ м. Расчетная нагрузка на крышу $Q = 150 \text{ кг/м}^2$. План крыши с размерами (рис. 35).

Решение:

1. Находим нагрузку, действующую на первый прогон:

$$q = Q \times a = 150 \times 3 = 450 \text{ кг/м}$$

2. Рассчитываем максимальный изгибающий момент, действующий на этом прогоне, и силы, передающиеся на опоры. В данном случае нас интересует сила, передающаяся на второй прогон R_b .

Изгибающий момент:

$$M_2 = -q(L_1^3 + L_2^3)/8L = -450(4,5^3 + 3^3)/8 \times 7,5 = -886 \text{ кг} \times \text{м}$$

Сила, передающаяся на второй прогон:

$$R_b = qL_2/2 - M_2/L_2 = 450 \times 4,5/2 + 886/4,5 = 1210 \text{ кг}$$

3. Произвольно задаемся шириной прогона, $b = 15 \text{ см}$ и по формуле (3) находим высоту прогона:

$$h = \sqrt{6W/b} = \sqrt{6 \times 682/15} = 17 \text{ см},$$

$$\text{где } W = M/R_{изг} = 88600/130 = 682 \text{ см}^3$$

По сортаменту пиломатериалов ближайшая подходящая балка имеет размеры $150 \times 175 \text{ мм}$. Выбираем ее для последующего расчета.

4. На самом длинном пролете проверяем прогон на прогиб по формуле (2).

Сначала определяем нормативный прогиб:

$$f_{нор} = L/200 = 450/200 = 2,25 \text{ см},$$

затем расчетный:

$$f = 5qL^4/384EJ = 5 \times 4,5 \times 450^4/384 \times 100000 \times 6700 = 3,5 \text{ см},$$

$$\text{где } J = bh^3/12 = 15 \times 17,5^3/12 = 6700 \text{ см}^4$$

Расчетный прогиб получился намного больше нормативного, требуется увеличить высоту прогона. По сортаменту пиломатериалов выбираем размер балки $150 \times 225 \text{ мм}$. Просчитаем ее на прогиб:

$$f = 5qL^4/384EJ = 5 \times 4,5 \times 450^4/384 \times 100000 \times 14239 = 1,69 \text{ см},$$

$$\text{где } J = bh^3/12 = 15 \times 22,5^3/12 = 14239 \text{ см}^4$$

Сечение первого прогона определили, будет применен брус размерами $150 \times 225 \text{ мм}$.

5. Находим нагрузку, действующую на второй прогон.

От расчетной равномерно распределенной она будет равна: $q = Q \times b = 150 \times 3 = 450 \text{ кг/м}$

От действия первого прогона будет приложена сосредоточенная сила $P = R_b = 1210 \text{ кг}$. Она расположена на расстоянии $4,5 \text{ м}$ от одного конца балки и 3 м от другого.

6. Сначала нужно определить по какой формуле будем просчитывать максимальный изгибающий момент, для этого находим соотношения сил p/qL и длин приложения силы c/b (см. рис. 33):

$$p/qL = 1210/450 \times 7,5 = 0,36; c/b = 4,5/3 = 1,5$$

c/b получилось больше, чем p/qL , значит максимальный момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\max} = ab(qL + 2P)/2L = 4,5 \times 3(450 \times 7,5 + 2 \times 1210)/2 \times 7,5 = 5216 \text{ кг}\cdot\text{м}$$

7. Произвольно задаемся шириной прогона, $b = 25 \text{ см}$ и по формуле (3) находим высоту прогона:

$$h = \sqrt{6W/b} = \sqrt{6 \times 4012/25} = 31 \text{ см},$$

$$\text{где } W = M/R_{\text{изг}} = 521600/130 = 4012 \text{ см}^3$$

Брусев такой высоты в сортаменте пиломатериалов нет, значит принимаем решение взять три бруса: два размерами 125×250 и один $100 \times 250 \text{ мм}$, уложить их друг на друга и сшить стальными пластинами или скрутить шпильками. Таким образом получим балку шириной 250 и высотой 350 мм .

8. Проверяем составную балку на прогиб по формуле (2).

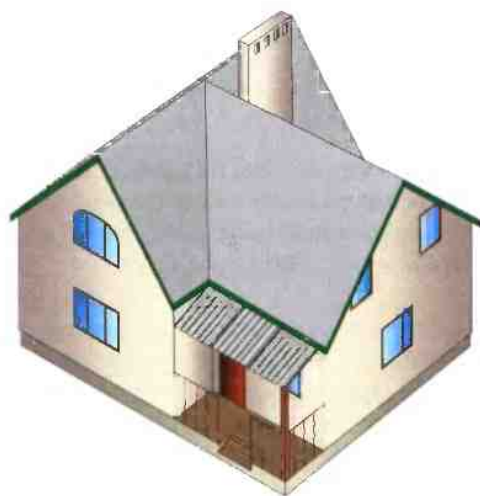
Сначала определяем нормативный прогиб:

$$f_{\text{нор}} = L/200 = 750/200 = 3,75 \text{ см}$$

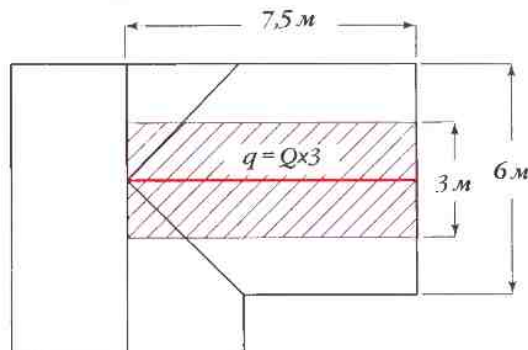
Затем расчетный, в нашем случае он рассчитывается как сумма прогибов от приложения к балке равномерной нагрузки и сосредоточенной силы:

$$f = 5qL^4/384EJ + PbL^3(1 - b^2/L^2)\sqrt{3(1 - b^3/L^3)}/27EJ = 5 \times 4,5 \times 750^4/384 \times 100000 \times 89323 + 1210 \times 300 \times 750^3(1 - 300^2/750^2)\sqrt{3(1 - 300^3/750^3)}/27 \times 100000 \times 89323 = 2,1 + 1,2 = 3,3 \text{ см},$$

$$\text{где } J = bh^3/12 = 25 \times 35^3/12 = 89323 \text{ см}^4$$



Нагрузка на первый прогон



Нагрузка на второй прогон

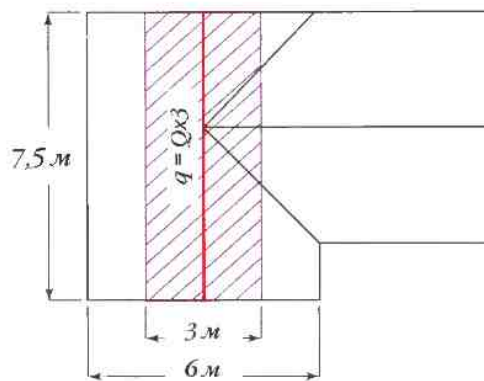
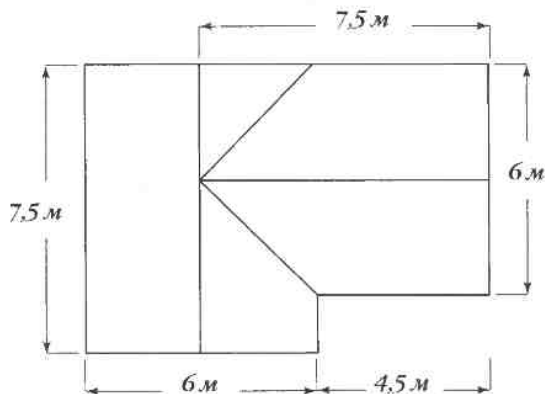


Рис. 35. К примеру расчета прогонов

Расчетный прогиб получился меньше нормативного, значит составная балка удовлетворяет нашим требованиям.

Таким образом, первый прогон принимаем из цельного бруса 150×225, второй — составным, общей высотой 350, а шириной 250 мм.

Как видно из расчетов, высота прогонов и стропил, в зависимости от нагрузок и архитектурного решения крыши, может быть самой разнообразной. К тому же, силы, давящие на стены, особенно это касается прогонов, достигают больших величин, поэтому крышу, как, впрочем, и все остальное, нужно проектировать заранее, еще до строительства дома. Иначе будет довольно трудно стыковать разновеликие по высоте прогоны между собой и согласовывать высотные отметки с фронтонами стен. Проектировать крышу по факту, после возведения стен..., наверное, можно, но нужно удерживать в голове довольно большее количество характеристик: тип грунта, площадь подошвы фундамента, вес стен, уклон скатов крыши, тип кровли и т. д. и т. п.

Опираение прогонов на стену должно быть рассчитано на смятие древесины. В большинстве случаев достаточно обеспечить нужную глубину опирания и подложить под брусок деревянную подкладку на двух слоях рубероида (гидроизола и т. п.). Однако проверочный расчет древесины на смятие провести все-таки нужно. Если опирание не обеспечивает требуемую площадь, при которой смятие не произойдет, площадь деревянной подкладки нужно увеличить, а ее высота должна обеспечить распределение нагрузки под углом 45°. Напряжение смятия рассчитывается по формуле:

$$\sigma = N/F_{\text{см}} \leq R_{\text{см90}}, \quad (9)$$

где N — сила давления на опору, кг; $F_{\text{см}}$ — площадь смятия, см^2 ; $R_{\text{см90}}$ — расчетное сопротивление смятию древесины поперек волокон $R_{\text{см90}} = 30 \text{ кг/см}^2$.

Пример проверки узлов опирания второго прогона на смятие (рис. 34, 35).

Дано: составной прогон длиной 7,5 м, сечением 250×350 мм. Равномерно распределенная нагрузка $q = 450 \text{ кг/м}$, сосредоточенная сила $P = 1210 \text{ кг}$, приложенная на расстоянии 4,5 м от одного фронтона и 3 м от другого. Расчетное сопротивление смятию $R_{\text{см90}} = 30 \text{ кг/см}^2$.

Решение.

1. Находим опорные реакции (силы, давящие на опоры):

$$R_A = qL/2 + aP/L = 450 \times 7,5/2 + 4,5 \times 1210/7,5 = 2413,5 \text{ кг};$$

$$R_B = qL/2 + bP/L = 450 \times 7,5/2 + 3 \times 1210/7,5 = 2171,5 \text{ кг}$$

2. Из формулы (9) находим минимально возможную площадь, при которой смятие не произойдет:

$$F_{\text{см}} = R_A/R_{\text{см}} = 2413,5/30 = 80,5 \text{ см}^2;$$

$$F_{\text{см}} = R_B/R_{\text{см}} = 2171,5/30 = 72,4 \text{ см}^2$$

3. Зная ширину прогона $e = 250 \text{ мм}$ (25 см), находим минимально возможную глубину опирания:

$$c = F_{\text{см}}/e = 80,5/25 = 3,22 \text{ см};$$

$$c = F_{\text{см}}/e = 72,4/25 = 2,9 \text{ см}$$

Таким образом, если мы обопрем прогон на стены фронтонов на глубину 12–15 см, этого будет более чем достаточно для того, чтобы древесина прогона не была смята на опоре.

Нужно обратить особое внимание на стену под опиранием конькового прогона. Если ниже расположено окно, то от верха перемычки до низа прогона должно быть не менее 6 рядов армированной кладки, в противном случае над окном нужно укладывать усиленные железобетонные перемычки по внутренней стороне фронтона.

Если планировка дома позволяет, коньковые прогоны не следует делать длинными и тяжелыми, их лучше разделить на два однопролетных прогона или оставить один и добавить под него опору. Например, планировка дома, изображенного на рисунке 34, подразумевает устройство перегородки в помещении под вторым прогоном. Значит, в перегородке можно установить шпренгельную ферму и разгрузить коньковый прогон, а ферму затем скрыть обшивкой, предположим, гипсокартоном.



Рис. 36. Разгрузка конькового прогона путем установки дополнительных прогонов (бесстропильная крыша)

Другой путь разгрузки коньковых прогонов лежит в том, что можно просто увеличить количество укладываемых прогонов (рис. 36). При увеличении числа балок встает вопрос, а зачем нам здесь вообще стропила, обрешетку можно сделать прямо по прогонам. Это действительно так. Такие крыши называются бесстропильными. Однако в мансардных утепленных крышах остро встает вопрос просушки утеплителя, поэтому подобие стропил все же делать придется. Для обеспечения воздушного потока нужно будет вдоль скатов (в том же направлении, как укладываются стропила) на прогоны набить деревянные бруски, например, 50×50 или 25×50 мм, обеспечивая тем самым проход высотой 50 или 25 мм.

Внимание! Для того чтобы рядовые прогоны работали только вертикально, они должны опираться на фронтоны в горизонтальной плоскости. Кромка, на которую будет опираться обрешетка, должна быть скошена (подтесана), а сама обрешетка должна быть жесткой:

из фанерных листов или двойной перекрестной и не передавать на прогоны скатную составляющую нагрузки. Иначе, прогоны будут работать на косоизгиб и соответственно должны быть рассчитаны на несущую способность и прогиб как по вертикали, так и по горизонтали.

В чердачных крышах необходимость в использовании длинных и тяжелых прогонов прогонов отпадает, здесь можно применять более короткие и легкие брусья и доски.

Прогон опирают на стойки. Стойки изготавливают из деревянного бруса, который нижним концом опирают на лежень или деревянную подкладку, а их, в свою очередь, укладывают на кирпичные столбики, разделяя рулонной гидроизоляцией. В зданиях с деревянными перекрытиями кирпичные столбики делают над внутренними несущими продольными или поперечными стенами. В зданиях со сборным железобетонным перекрытием столбики можно делать прямо по железобетонным плитам.

Обычная пустотная железобетонная плита перекрытия рассчитана на распределенную нагрузку от 400 кг/м^2 , во многих случаях этого более чем достаточно, чтобы выдержать вес крыши, снеговую и ветровую нагрузку. Возможно, что многие видели надписи на боковой стороне плит перекрытия, например, на плите написано ПТП 60-15-8, первые две цифры означают размер плиты в дециметрах (длина 6, ширина 1,5 м), а вот последняя — нагрузку, на которую рассчитана плита, в сотнях килограммов на квадратный метр. Сейчас наиболее распространены железобетонные плиты перекрытия с цифрой 8, значит, каждый квадратный метр такой плиты способен нести вес 800 кг. Оперев крышу через стойки, лежень и кирпичные столбики на перекрытие, с ним вряд ли что произойдет, так как нагрузки от снега, ветра и веса крыши, чаще всего, значительно ниже несущей способности перекрытия. И все-таки кирпичные столбики под лежни лучше размещать над несущими поперечными или продольными стенами либо стремиться сдвигать их к опиранию плит перекрытия на стены. При размещении столбиков ближе к центру плит перекрытие нужно проверить расчетом на способность его нести постоянные сосредоточенные нагрузки.

Однако еще раз повторимся, чаще всего, железобетонное перекрытие спокойно выдерживает нагрузку от крыши.

Лежень можно укладывать прямо на внутреннюю стену или на перекрытие с горизонтальным выравниванием деревянными подкладками. Выравнивание верха лежня в горизонт упрощает установку стоек и прогонов. Стойки, отпиленные на одну высоту и установленные на горизонтальный лежень, автоматически дают одинаковую высоту конька крыши. Во всех случаях под лежень: между ним и стеной, между ним и кирпичными столбиками или перекрытием укладывается рулонная гидроизоляция.

Стойки не обязательно размещать прямо под стропилами. Обычно шаг размещения стропил составляет от 60–80 см до 1,2–1,5 м, устанавливать так часто стойки, удерживающие прогон, не имеет смысла, поэтому их обычно делают по длине досок или бруса. Простейшая подстропильная конструкция выглядит, как прямоугольная рама, состоящая из верхнего пояса — прогона, нижнего пояса — лежня, вертикального заполнения — стоек и нескольких ветровых связей, которые делают из доски толщиной 40–50 мм. Например, подстропильную конструкцию длиной 9 м можно сделать из двух брусьев длиной по 4,5 м и трех стоек, стыкуя брусья по длине на средней стойке. Либо двух брусьев и одной стойки, если есть возможность опирания прогона на стены фронтонов. Такой прогон называется разрезным, его части рассчитываются как обычные двухпролетные балки (рис. 37).

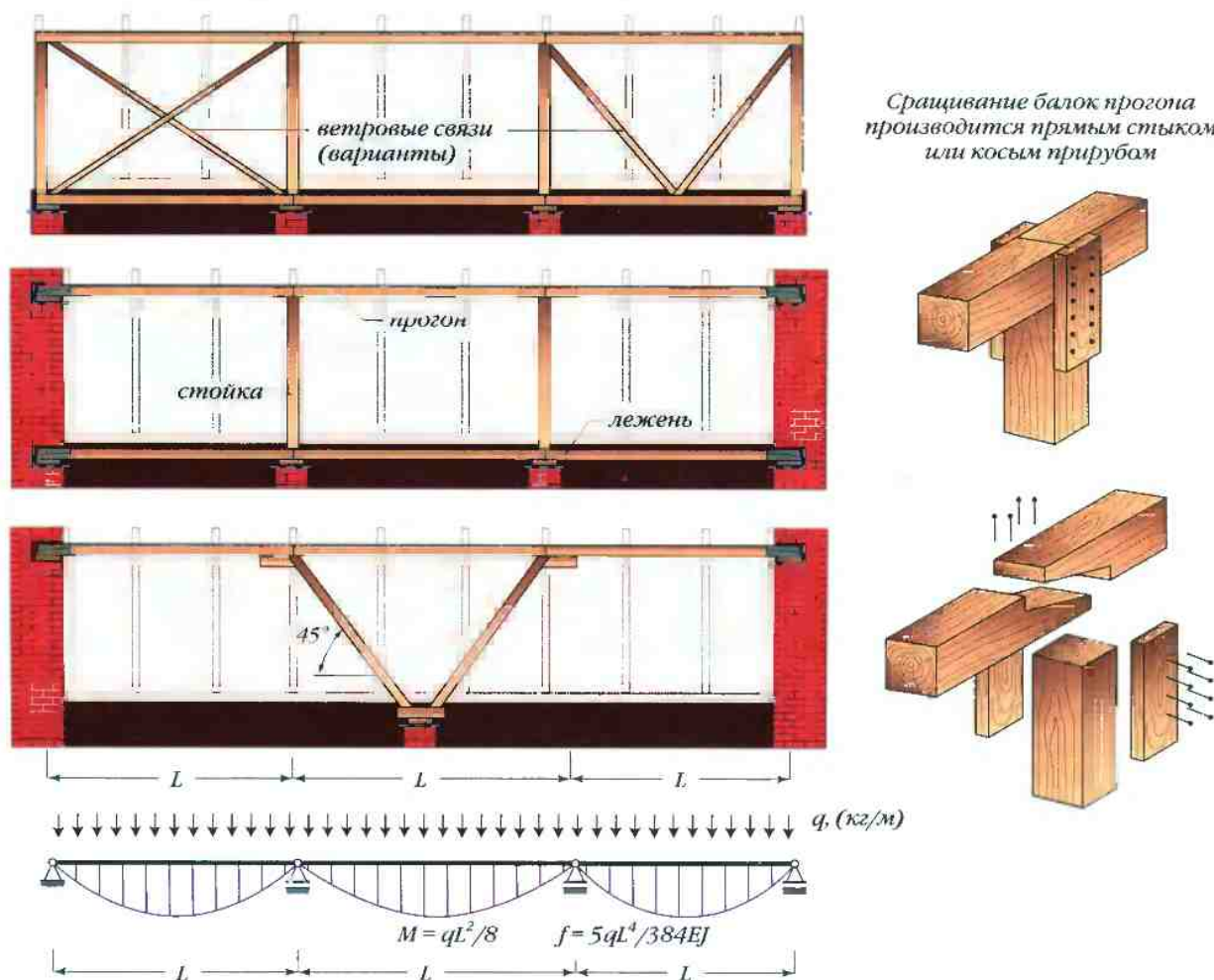
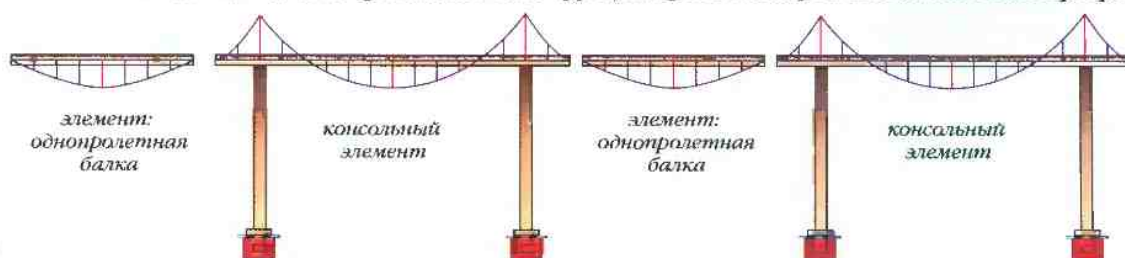
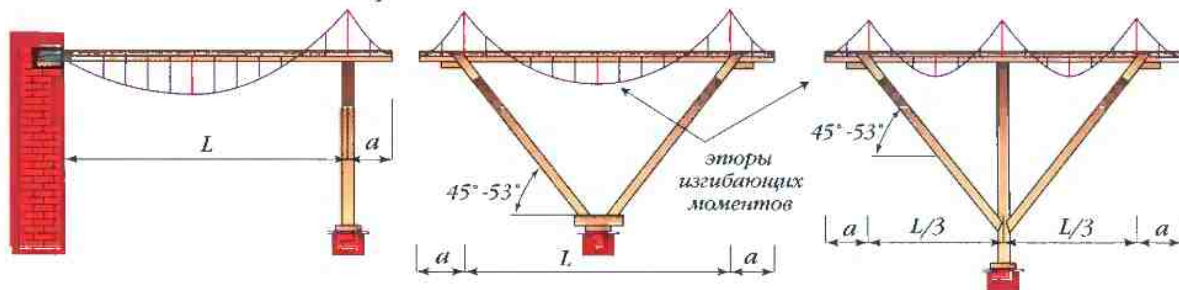


Рис. 37. Варианты подстропильных конструкций с разрезными прогонами

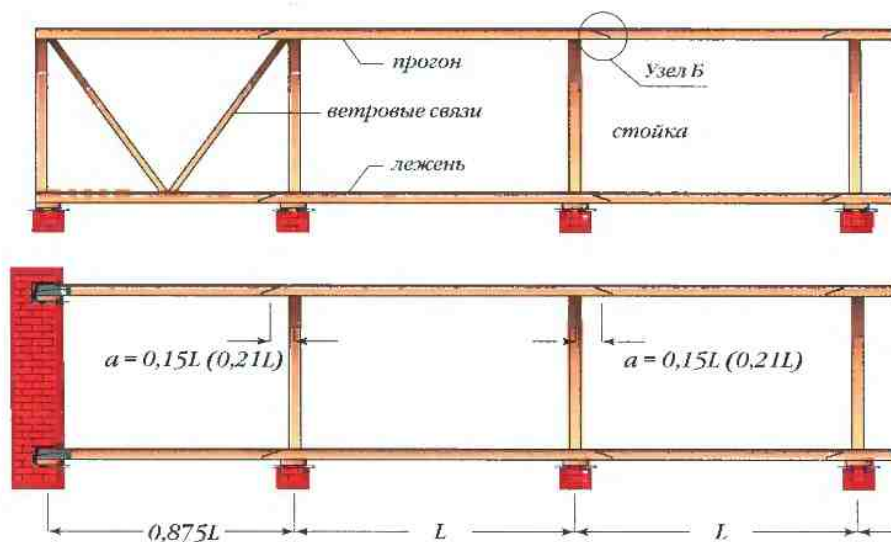
Отдельные элементы подстропильной конструкции, прогон которой основан на балке Гербера



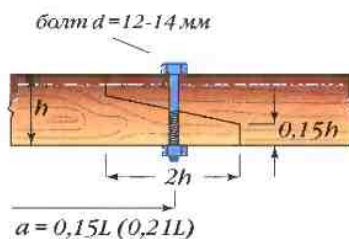
Варианты выполнения консольных элементов



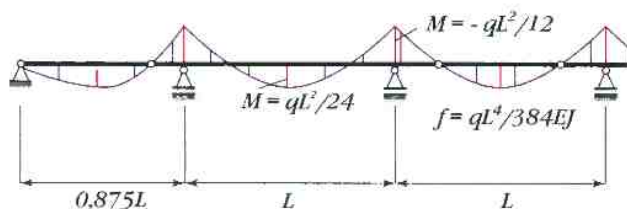
Варианты выполнения подстропильных конструкций



Узел Б. Сращивание прогонов косым прирубам



Равнопрогибные консольно-балочные прогоны при $a = 0,21L$



Равнопрочные консольно-балочные прогоны при $a = 0,15L$

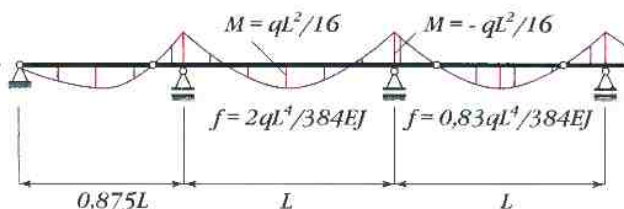


Рис. 38. Консольно-балочная подстропильная конструкция

Стойки рассчитываются как сжатые элементы по формуле (8), однако в большинстве случаев их размеры принимаются конструктивно, но не менее 10×10 см. Такие сечения стоек позволяют принимать их без расчета на изгиб, так как гибкость невысоких стоек практически равна нулю. Брусовые стойки можно заменять на стойки из сбитых между собой досок вплотную либо с установкой между досками деревянных коротышей с просветом не более 7h (по аналогии с рис. 32). Тогда гибкость и прочность составных стоек будет примерно равна аналогичным параметрам стоек из цельного бруса того же сечения.

Разрезные прогоны просты в изготовлении и монтаже, но неэкономичны. Более экономичная конструкция получается, если прогоны сделать консольными, а между ними вставить однопролетные балки (рис. 38). Такой прогон называется консольно-балочным (балка Гербера) и по сути остается все той же разрезной балкой, в которой консольные и однопролетные балки рассчитываются отдельно. Однопролетные прогоны располагают между двумя консольными таким образом, чтобы в месте стыковки изгибающий момент стремился к нулю. Эти узлы сращивания балок по длине называются пластичными шарнирами. Сращивание прогонов производят косым прирубом и стягиванием болтом диаметром 12–14 мм. Максимальная длина перекрываемых пролетов — 5 м.

Возможны два варианта устройства консольно-балочного прогона. При расстоянии от опоры до стыка 0,15L получается прогон с равными изгибающими моментами во всех пролетах и на всех опорах, то есть прогон получается во всех сечениях равнопрочным. Если ставка делается на жесткость прогона, то его делают равнопрогибным. Пластичные шарниры (стыки балок), в этом случае, располагают на расстоянии от опоры 0,21L. В концевых пролетах однопролетные балки одной стороной опираются на консоль соседнего прогона, а другой на стену фронтона или стойку.

Для того чтобы не нарушать гармонию работы балки, совершенно естественно, концевые пролеты сделать короче рядовых, поэтому концевой пролет назначают равным $L_1 = 0,875L$. Это утверждение справедливо для реальной длины пролета, то есть размера на «просвет», с учетом глубины опирания прогона на стену или стойку, составляющую не менее 10 см. В ряде случаев под конец прогона, опирающегося на стену, нужно подложить деревянную подкладку и слой гидроизоляции.

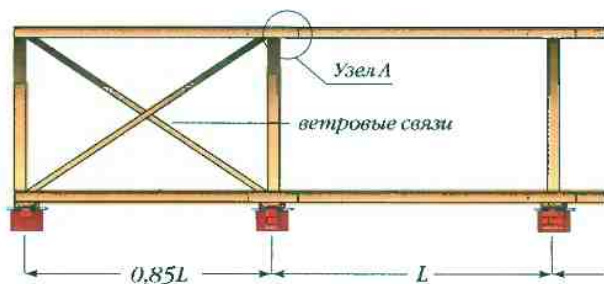
Есть и другой способ уменьшения сечения прогонов: устройство неразрезного прогона сплачиванием досок (рис. 39). В неразрезных прогонах из спаренных досок пластичные шарниры располагаются вразбежку, на расстоянии 0,21L от опоры. Прогон получается с равными прогибами, но разными изгибающими моментами. В пластичном шарнире каждый стык двух досок перекрывается цельной доской. Максимальные пролеты для неразрезного пролета из досок могут достигать 6,5 м, то есть полной длины доски по государственному стандарту. По длине доски прогона сшиваются гвоздями, располагаемыми в шахматном порядке через 50 см, а в стыке ставятся гвозди по расчету. Расчет гвоздевого соединения пластичного шарнира неразрезного прогона из досок делается по формуле:

$$n = M_{оп} / 2XT_{гв},$$

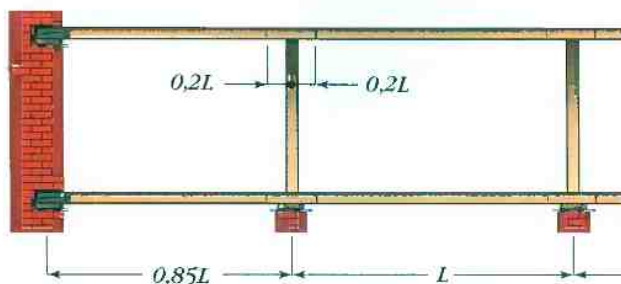
где n — требуемое количество гвоздей, шт; $M_{оп}$ — изгибающий момент на опоре, кг×м; X — расстояние от центра опоры до центра гвоздевого поля; $T_{гв}$ — несущая способность одного гвоздя в односрезном соединении.

Расчет прогонов любого типа допускается вести как на сосредоточенные силы от давления стропил, так и на равномерно распределенную нагрузку. Обычно применяется расчет на равномерно распределенную нагрузку, как более быстрый и простой.

Сечение лежня принимается конструктивно, чаще всего, такое же, как сечение прогона. Например, это может быть брус 10×15 см, если лежень опирается только на кирпичные столбики. Если лежень укладывается на перекрытие либо на стену (все случаи, когда под него можно положить много выравнивающих деревянных подкладок), высота лежня может быть уменьшена до 10 и даже 5 см. Если стропильная система крыши будет делаться без подстропильных ног (подкосов), от лежня можно совсем отказаться, а низы стоек конструктивно связать прибавлением схваток.



Узел А. Стыкование досок на опоре



Неразрезные дощатые прогоны, $a = 0,21L$

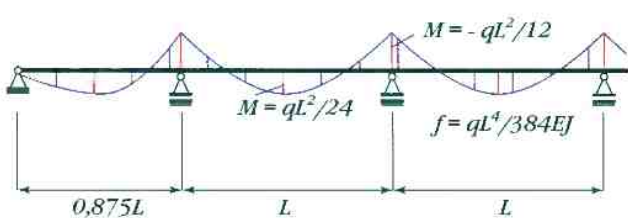
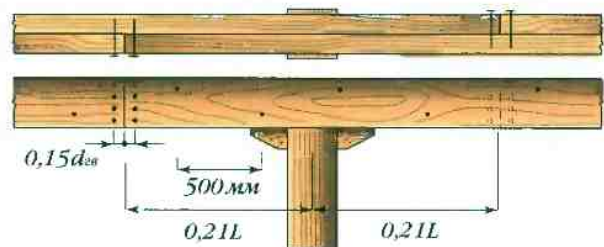


Рис. 39. Подстропильная конструкция с неразрезными прогонами

Пример расчета подстропильной конструкции (рис. 39).

Дано: расчетная нагрузка на прогон $q = 450$ кг/м. Длина прогона 9 м. Прогон опирается с шагом 3 м на две стойки и стены фронтонов. Расчетное сопротивление дерева изгибу $R_{изг} = 130$ кг/см².

Решение:

1. Выбираем расчетную схему. Прогоны Гербера (консольно-шарнирные) — это изящное инженерное решение с множественными вариантами исполнения, но мы выберем вариант более прагматичный и простой в изготовлении: неразрезной прогон из досок. Находим максимальный изгибающий момент, действующий на прогон:

$$M_{оп} = -qL^2/12 = -450 \times 3^2/12 = -337,5 \text{ кг} \times \text{м}$$

2. Произвольно задаемся шириной досок, используемых для прогона. Предположим, это будет две доски толщиной по 5 см, таким образом общая толщина прогона составит $b = 10$ см.

Находим высоту прогона:

$$h = \sqrt{6W/b} = \sqrt{6 \times 260/10} = 12,5 \text{ см,}$$

$$\text{где } W = M/R_{изг} = 33750/130 = 260 \text{ см}^3$$

3. По сортаменту пиломатериалов видим, что расчетная высота совпадает с размерами пиломатериала по ГОСТу. Для изготовления прогона подходят спаренные доски 50×125 мм.

Проверяем прогон на прогиб:

$$f = 5qL^4/384EJ = 5 \times 4,5 \times 300^4/384 \times 100000 \times 1628 = 2,91 \text{ см}$$

$$\text{где } J = bh^3/12 = 10 \times 12,5^3/12 = 1628 \text{ см}^4$$

Нормативный прогиб:

$$f_{нор} = L/200 = 300/200 = 1,5 \text{ см.}$$

Расчетный прогиб прогона получился намного больше, чем нормативный, значит, сечения досок 50×125 мм для изготовления прогона не подходят. Увеличим высоту досок до 175 мм.

$$\text{Тогда: } f = 5qL^4/384EJ = 5 \times 4,5 \times 300^4/384 \times 100000 \times 4466 = 1,06 \text{ см}$$

$$\text{где } J = bh^3/12 = 10 \times 17,5^3/12 = 4466 \text{ см}^4$$

Сечение прогона из двух досок 50×175 мм удовлетворяет требованиям жесткости.

4. Для устройства пластичного шарнира рассчитываем гвоздевое соединение узлов сращивания прогона. Сплачиваются две доски толщиной по 5 см, значит, нам необходимы гвозди длиной 100 мм, диаметром 4 мм (0,4 см). Рабочая длина гвоздя рассчитывается, как полная длина гвоздя минус толщина одной доски 50 мм, зазор между досками 2 мм, острие гвоздя $1,5d = 6$ мм:

$$a_0 = 100 - 50 - 2 - 6 = 42 \text{ мм} = 4,2 \text{ см}$$

Несущая способность одного гвоздя в односрезном сплачивании:

$$T_{гв} = 250d_{гв}^2 + a^2 = 259 \times 0,4^2 + 4,2^2 = 57,6 \text{ кг}$$

Пластический шарнир располагается на расстоянии $X = 0,21L = 0,21 \times 3 = 0,63$ м, тогда требуемое количество гвоздей: $n = M_{оп}/2XT_{гв} = 337,5/2 \times 0,63 \times 57,6 = 5$ шт. Для симметрии возьмем по 3 гвоздя с каждой стороны стыка.

5. Сечение стоек принимаем конструктивно 100×100 мм. Преобразуя формулу (8), находим, что стойка такого сечения способна выдержать нагрузку:

$$N = F \times R_{сж} = 10 \times 10 \times 130 = 13000 \text{ кг} = 13 \text{ т}$$

Так что рассчитывать стойку на сжатие нет никакого смысла. Если есть желание уменьшить сечение стойки ниже рекомендованного и сэкономить тем самым на пиломатериалах, то расчет необходимо проводить на гибкость по СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции».

6. Сечение лежня принимается конструктивно $10 \times 12,5(h)$ см.

Таким образом, окончательно принимаем: изготовление прогона из спаренных досок 50×175 мм; стоек — 150×150 мм; лежня — 100×125 мм.

Диагональные стропильные ноги

На вальмовых крышах и крышах с ендовами приходится устанавливать стропила по направлению к углу стен (внешнему или внутреннему). Эти стропильные ноги называются диагональными или накосными. Диагональные стропила длиннее обычных, кроме того, в них опираются укороченные стропила скатов (стропильные полуноги), которые называются нарожниками. Поэтому накосные стропила, как правило, несут нагрузку в полтора раза, а то и вдвое превышающую нагрузку на обычные стропила. Длина диагональных стропил обычно превышает стандартную длину досок, поэтому стропила делают спаренным. Спаривание накосной стропильной ноги решает сразу две задачи: во-первых, удвоенное сечение способно нести большую нагрузку; во-вторых, сплачивание коротких досок позволяет получить длинную неразрезную балку.

Для получения многопролетности под накосную ногу устанавливают одну или две опоры. Сращивание досок по длине делают так, чтобы стыки получались на расстоянии $0,21L$ от центра опор в обе стороны, таким образом длину досок для изготовления накосной стропильной ноги нужно подбирать в зависимости от длины пролетов, следовательно, от количества опор. Например, нужно сделать накосную ногу длиной 9 м, для этого можно использовать доски длиной по 5 м и установить одну опору посередине. Получим двухпролетную неразрезную балку. Однако расположение опоры посередине стропила не всегда возможно, поэтому чаще ее устанавливают на расстоянии $1/3$ пролета от низа стропила, тогда для стропила длиной 9 м используются доски 6,5 и 3,5 м, пролеты получаются 6 и 3 м.

Опора под накосную стропильную ногу это обычная стойка из двух спаренных досок или бруса, опертая через деревянную подкладку и гидроизоляционный слой прямо на перекрытие, если оно из железобетонных плит и проверено на сосредоточенную силу. Если перекрытие не позволяет опирать на него стойку, например, оно деревянное, то ее (стойку) опирают на балку из бруса, прокинутую на угол по наружным стенам — шпренгель. Чтобы балка особо не прогибалась (не «играла»), дополнительно устанавливают два подкоса. Такая опора получила название шпренгельная ферма. В большинстве случаев при строительстве небольших загородных домов, эту ферму не нужно рассчитывать, ее элементы принимаются конструктивно из бруса или спаренных досок общим сечением 100×100 — для стоек, 50×100 — для подкосов и $100 \times 150(h)$ мм — для балки.

Опираание диагональной стропильной ноги в коньке зависит от расположения и количества промежуточных опор и конструкции основных наслонных стропил:

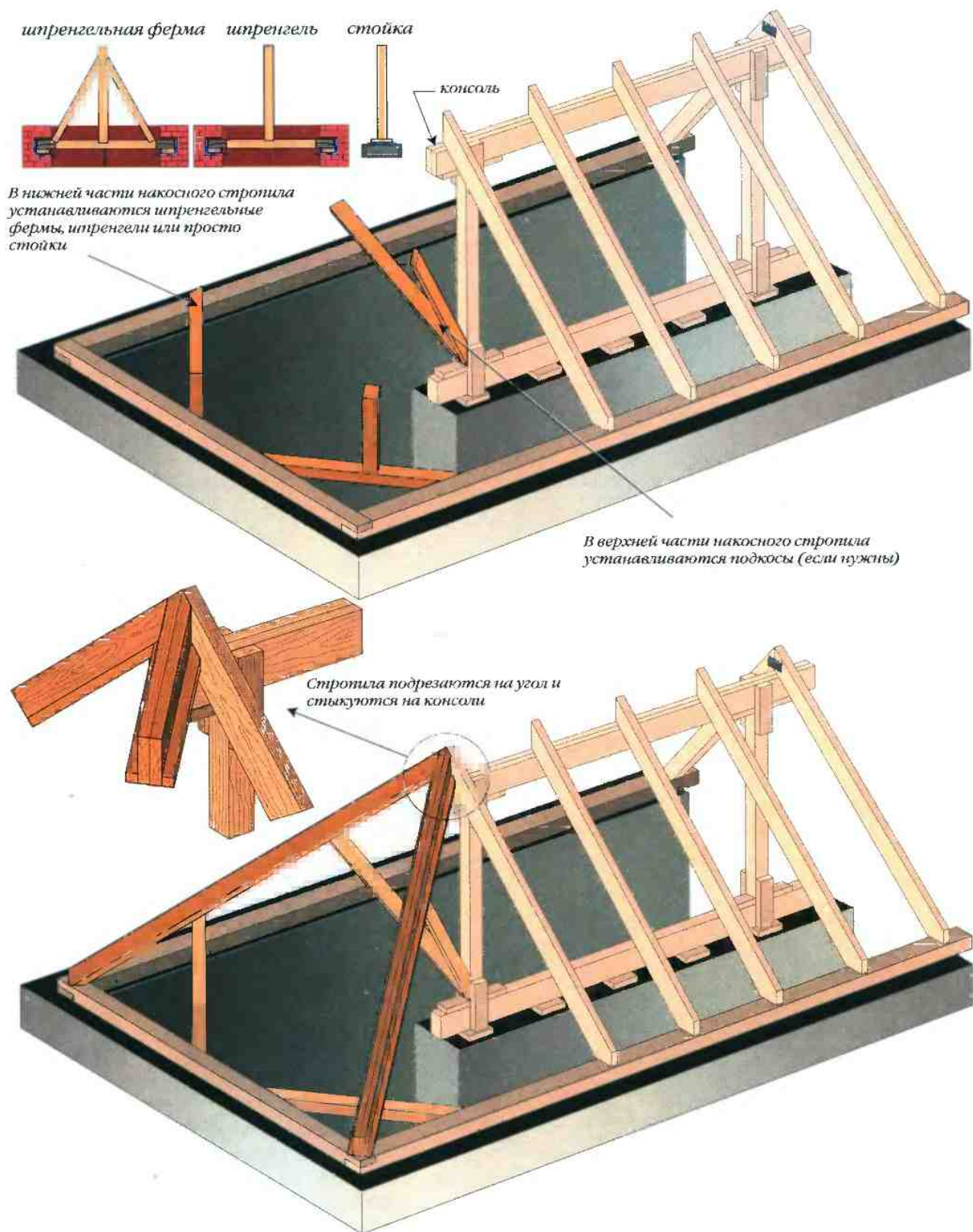


Рис. 40. Опираие накосных стропильных ног на прогон в центре крыши

- при наличии одного прогона посредине крыши диагональную стропильную ногу опирают на консоли прогона (рис. 40). Консоли выпускают сантиметров на 10–15 за подстропильную раму, лишнее потом проще отпилить, чем нарастить недостающее;
- при наличии стропил из досок и двух прогонов на них укладывается балка и устанавливается шпренгель, на который крепится верх накосных стропил (рис. 41). Если ря-

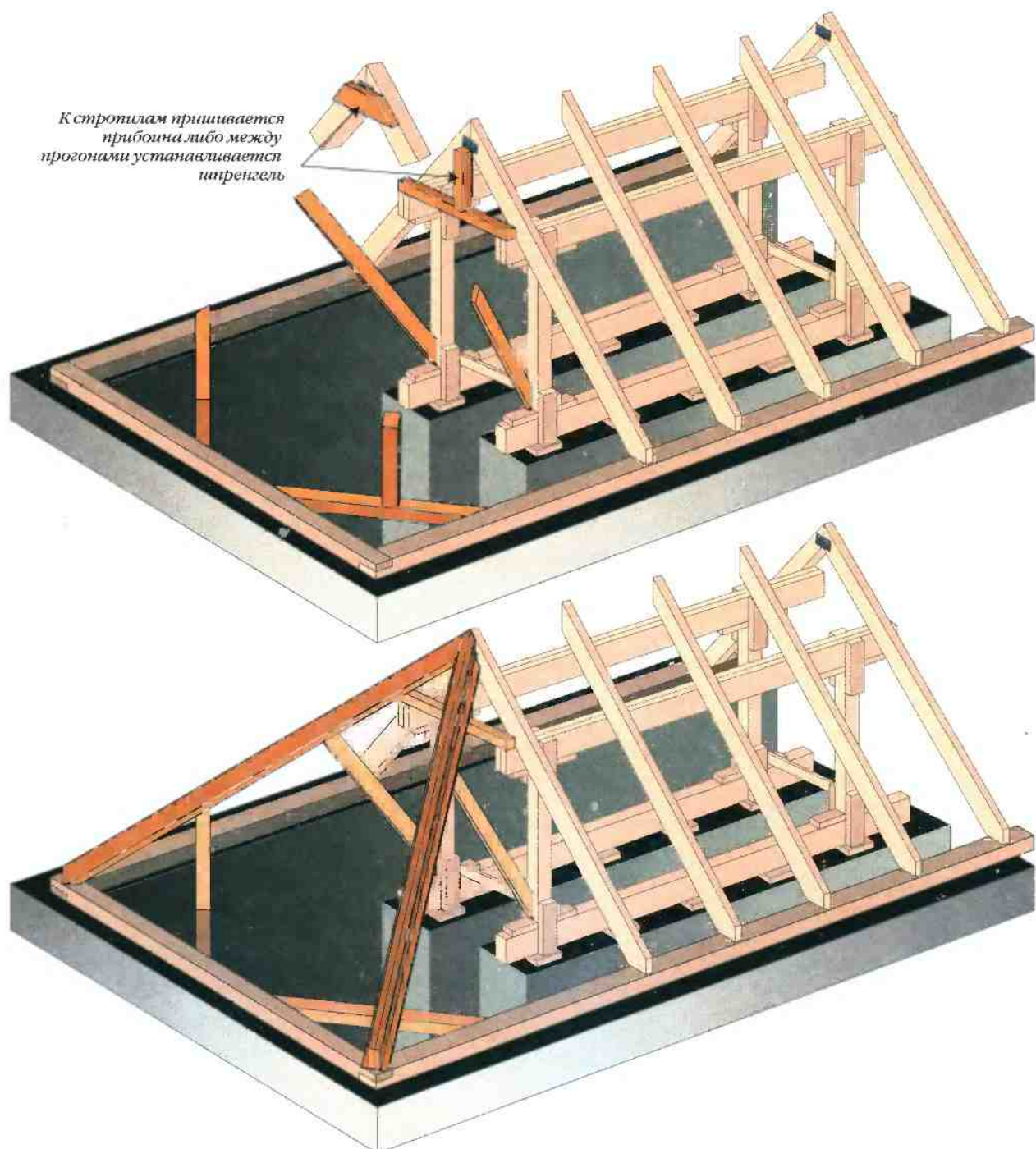


Рис. 41. Опираие накосных стропильных ног на шпренгель при двух подстропильных рамах

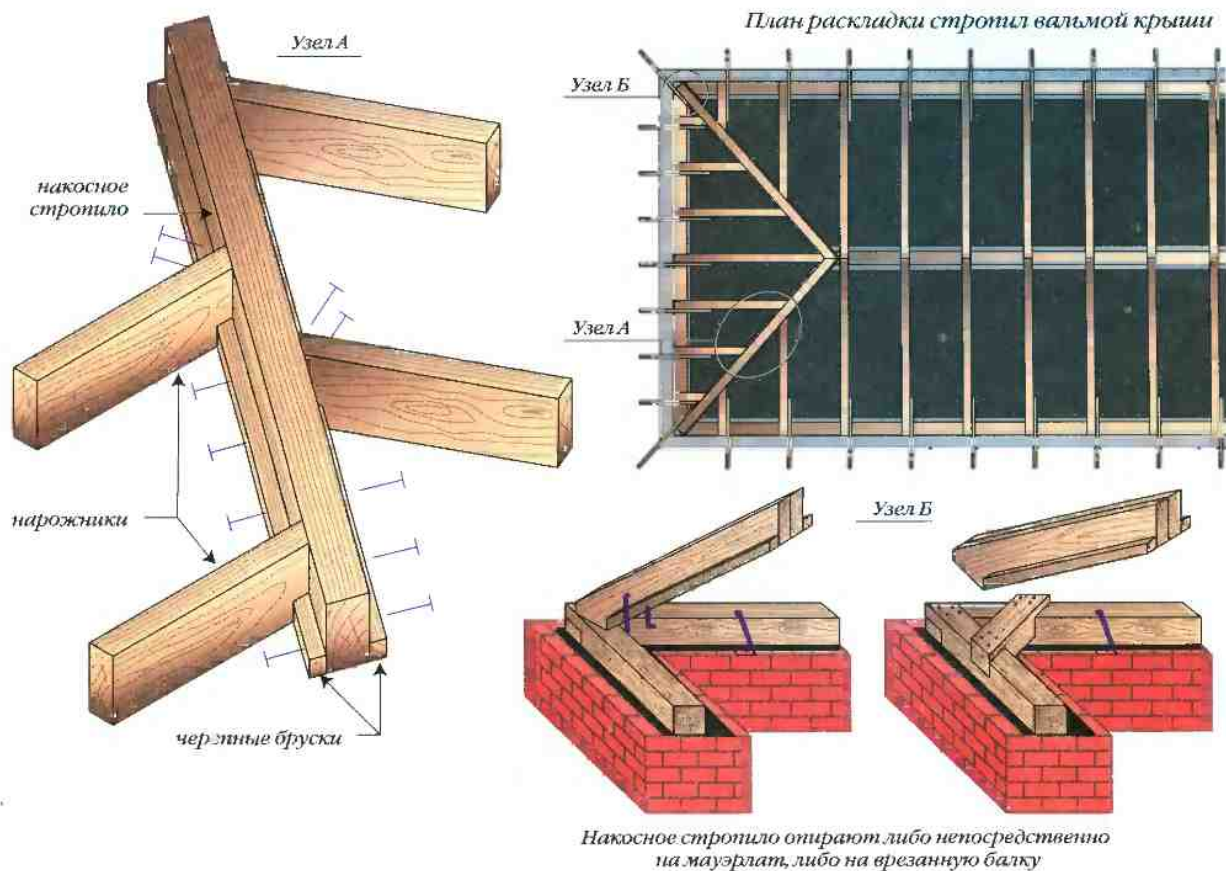


Рис. 42. Узлы накосных стропил

довые стропила изготавливаются из брусьев, то к ним пришивают прибоину (коротыш доски толщиной не менее 5 см).

Пиз накосных стропил для посадки на шпренгель, консоль прогона или на прибоину, подрубается в горизонт и крепится гвоздями. При необходимости стропила дополнительно прикрепляют к опоре металлическим хомутом или тугой проволоочной скруткой.

Стропильная нога не нуждается в расчете, как правило, сделанная из двух сечений рядовых стропильных ног она выдерживает ту нагрузку, на которую были рассчитаны рядовые стропила. Стропила, перекрывающие пролет до 7,5 м, подпираются только в нижней части. Если накосное стропило перекрывает пролет до 9 м, устанавливают еще одну опору: стойку (если позволяет перекрытие), либо подкос, который низом упирают в лежень, уложенный по центру здания. Подкос устанавливается под углом к горизонту 45-53°. Под стропила пролетом более 9 м устанавливают третью опору по центру, здесь можно установить только стойку, значит, перекрытие должно быть железобетонным и проверенным на сосредоточенную силу либо в него должна быть введена стальная или железобетонная балка, на которую можно будет опереть стойку.

Накосные стропила, расположенные в ендовах, подпереть шпренгельной фермой нельзя, так как угол стен, образующий ендову, внутренний, поэтому их подпирают стойками либо, если не позволяет перекрытие, подкосами.

Жесткость стропила усиливается, если стыкование к нему нарожников делать не врубками, а устройством чересных брусков. Бруски сечением 50×50 мм нашиваются к пизу стро-

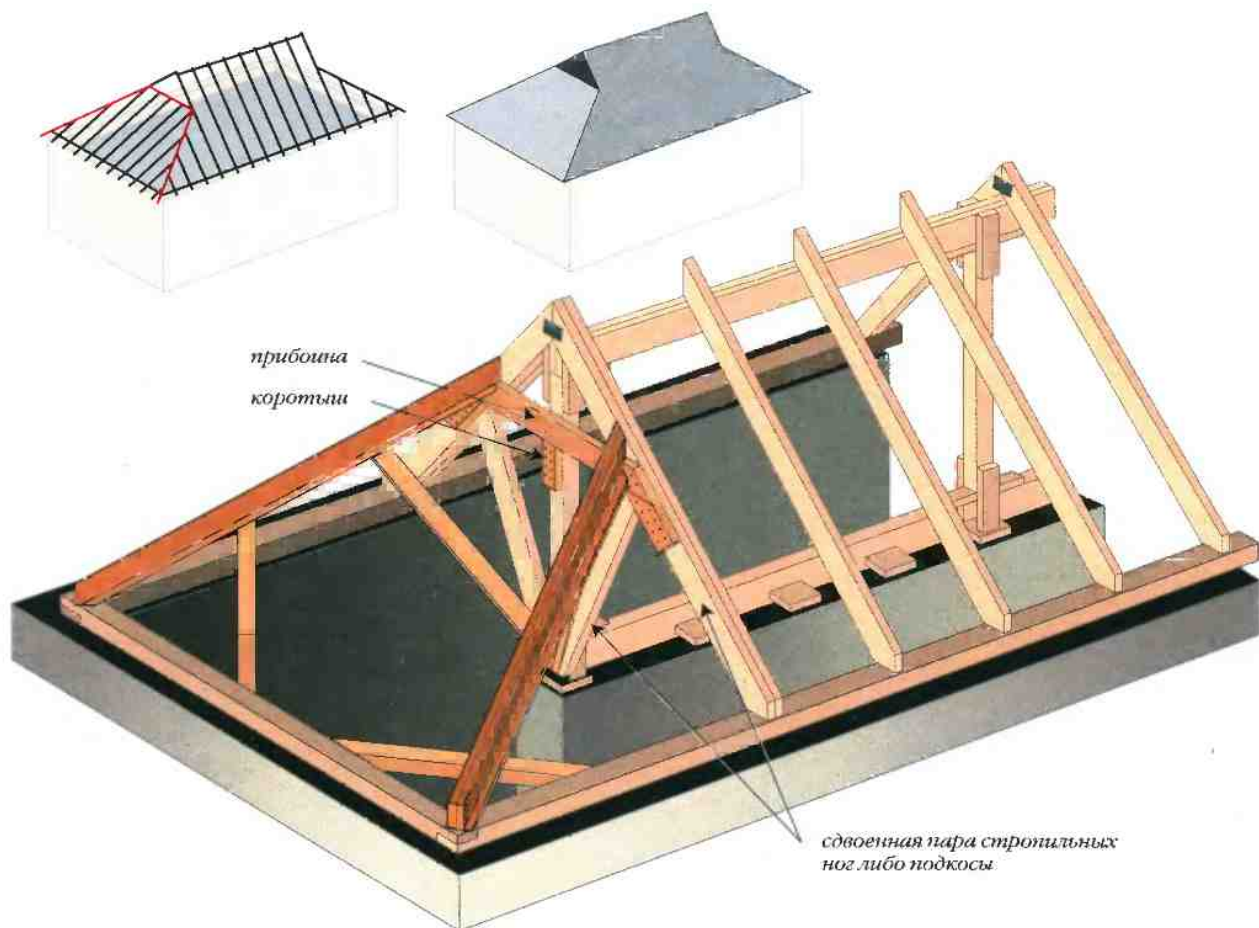


Рис. 43. Опираие накосных стропил для устройства датской крыши

пильной ноги с обеих сторон. Шаг опирания нарожников нужно выбрать таким, чтобы они не приходили с двух сторон в одну точку стропила, а стыковались вразбежку (рис. 42). Иногда для этого приходится немного менять шаг установки нарожников относительно рядовых стропил. Установка опорных (черепных) брусков на накосную стропильную ногу делает ее сечение тавровым, что усиливает ее несущую способность и жесткость.

Пиз диагональных стропильных ног упирается непосредственно в мауэрлат или в балку, уложенную на угол стен. При необходимости верхняя плоть накосной стропилины, уложенной на ребре крыши, стесывается под углом, а расположенные в ендове — желобком, для укладки на них обрешётки.

Установкой между рядовыми стропилами прибоины из доски толщиной не менее 5 см можно сделать так называемую датскую крышу (рис. 43). При необходимости места крепления прибоины к рядовым стропилам подпирают подкосами (подстропильными ногами), низ которых упирают в лежень или стойку либо вместо рядовых стропил устанавливают усиленную (спаренную) пару стропильных ног. В местах пересечения прибоины со стойкой или двумя стойками ее крепят к ним гвоздевым боем и подпирают коротышами (обрезками досок). Полученную на крыше вертикальную плоскость обшивают погонажным или листовым материалом и, чаще всего, используют для устройства на чердаке естественного освещения: монтируют под коньком окна.

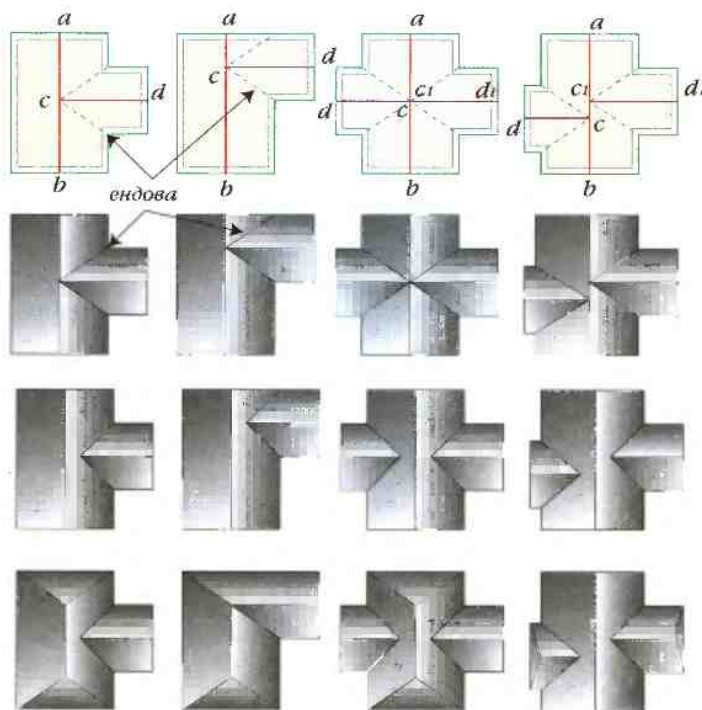


Рис. 44. Построение плана крыши

«Врезание» крыши друг в друга

Архитекторы называют крышу пятым фасадом — это один из самых выразительных элементов дома. Однако здесь необходимо выдержать баланс между дизайнерским решением и функциональностью крыши. С инженерной точки зрения чем проще крыша, тем меньше хлопот она доставит в строительстве и последующей эксплуатации. При проектировании крыши по бюджетному варианту следует, по возможности, избегать большого количества ендов, высотных перепадов конька, башенок и арочных форм.

На рис. 1 представлены основные типы простых конструкций крыш, но это всего лишь эскиз. Для правильного построения крыши должен быть разработан план крыши и основные разрезы, учитывающие линейные размеры здания и высотные отметки.

Как построить план крыши? Рассмотрим это на примерах (рис. 44). Современные загородные дома редко

имеют план прямоугольника, чаще всего они строятся в виде букв Г, Т или в форме креста. Бывают и другие планировочные решения, нам сейчас важнее разобраться с основными принципами построения плана крыши. Планировку дома можно мысленно разбить на прямоугольники. Самый большой прямоугольник условно назовем основным помещением, а прямоугольники поменьше — пристройками.

Нарисовав план стен, отступают от линий стен на 50 см (нормативный свес крыши) и в масштабе рисуют внешний периметр крыши. Затем на основной крыше рисуем прогон ab , перпендикулярно ему рисуем прогоны на пристройках cd . Теперь если соединить углы смыкания основной крыши и пристройки, то получим линию ендовы — внутреннего угла пересечения крыш. Здесь будут сделаны накосные стропильные ноги.

При одинаковой высоте коньков крыши накосные стропила устанавливаются на всю длину ендовы и будут опираться на мауэрлат и прогон основной крыши, углы скатов основной крыши и пристройки будут разными. Скаты получатся одного уклона только если ширина пристройки будет равна ширине основного помещения.

Укорачивание прогонов cd со стороны точки c изменяет линии ендовы. Расположение ее в плане под углом 45° приводит к тому, что скаты основной крыши и пристройки получатся с одинаковым наклоном, но конек пристройки станет ниже конька основной крыши. Изменением угла наклона ендовы (в плане) можно изменить высоту конька пристройки до требуемой величины. Накосное стропило, установленное в ендове, в этом случае, будет опираться на мауэрлат и прогон пристройки.

Укорачивание прогона со стороны точки a или b либо с обеих сторон приводит к образованию на крыше вальм. То же самое можно сделать с прогоном cd , укорачивая его со стороны точки d получим вальму на пристройке. Кстати, можно и удлинять прогоны, тогда на крыше получим треугольные, увеличенные на коньке, свесы крыши. Если полностью «согнуть» прогон, например, прогон ab , в одну точку, получим шатровую крышу, в которой накосные стропила будут сходиться и опираться на единственную стойку.

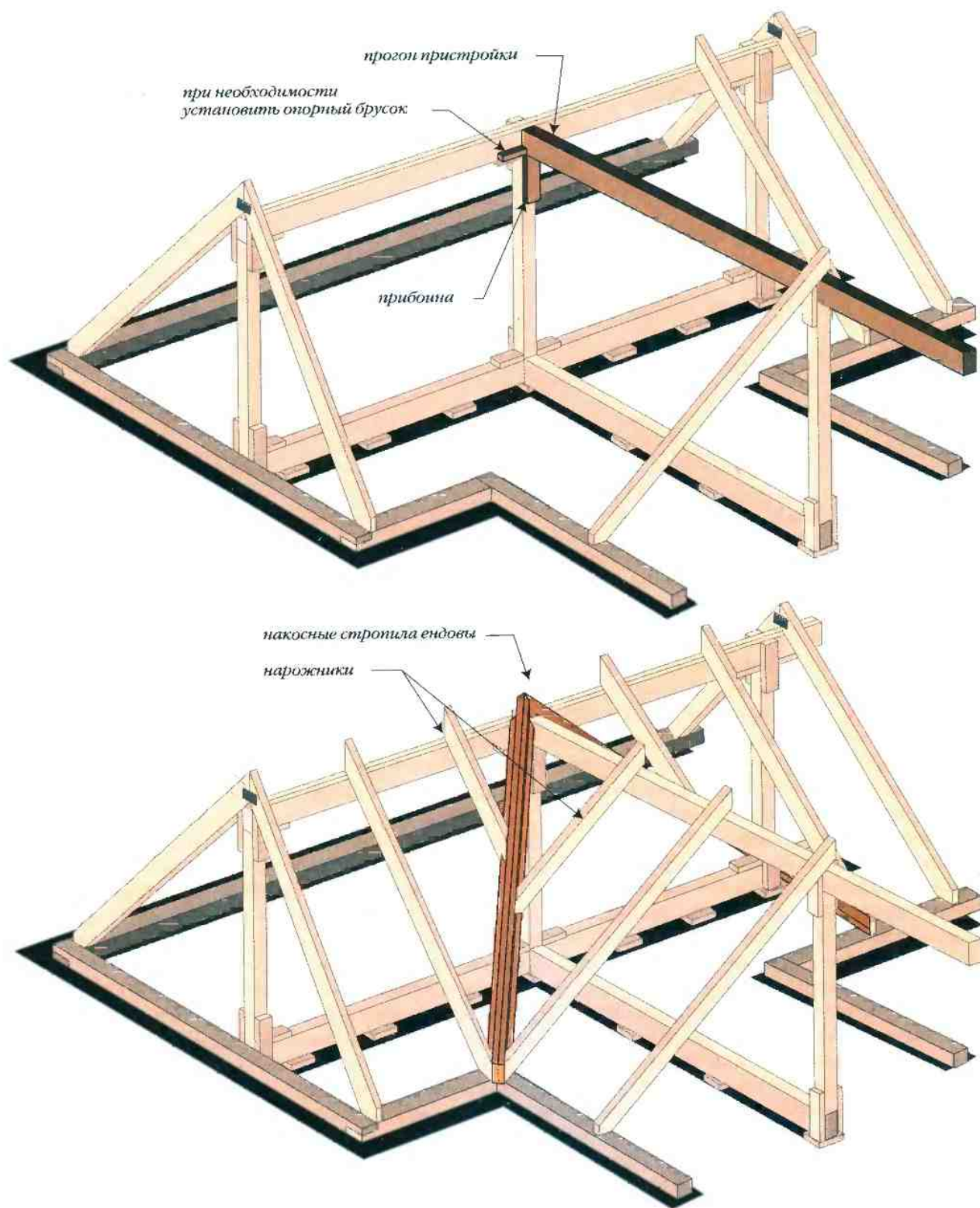


Рис. 45. Вариант стыкования двух крыш

В чердачных крышах, на любой высоте конька, прогоны пристроек стыкуются со стойками подстропильной конструкции основной крыши и опираются на прибоины (рис. 45). Гвоздевое соединение прибоин со стойками рассчитывается на срез гвоздей либо прибоина делается на всю высоту стойки. В мансардных крышах это делается несколько иначе, мы рассмотрим эти узлы в отдельной главе. Накосные стропила, формирующие ендову, опирают на прогон либо на опорные бруски, прибитые к прогону.

Нарожники так же, как и в случае вальмовых крыш опирают на диагональное стропило, на которое предварительно напиваются опорные бруски. Правило установки нарожников прежнее: они должны устанавливаться вразбежку, а не сходиться в одной точке накосного стропила.

Проход вентиляционных и дымовых труб

После того как будет вычерчен план крыши, нужно выбрать шаг установки стропил, обращая особое внимание на вентиляционные и дымовые трубы. Шаг стропил нужно постараться выбрать таким образом, чтобы трубы проšli в просвет между стропилами. Либо к стропилам пришиваются опорные бруски 50×50 (50×60) мм, на которые опирают поперечины и уже к ним, опять же посредством опорных брусков или стальных фасонных накладок, стыкуются рядовые стропилины (рис. 46). Если режется более одной стропилины, крайние стропильные ноги нужно усилить: сделать их спаренными. Если труба проходит через конек, то коньковый прогон делают с двух сторон трубы, стропила в верхней части опирают на поперечины, аналогично проходу труб через скат крыши.

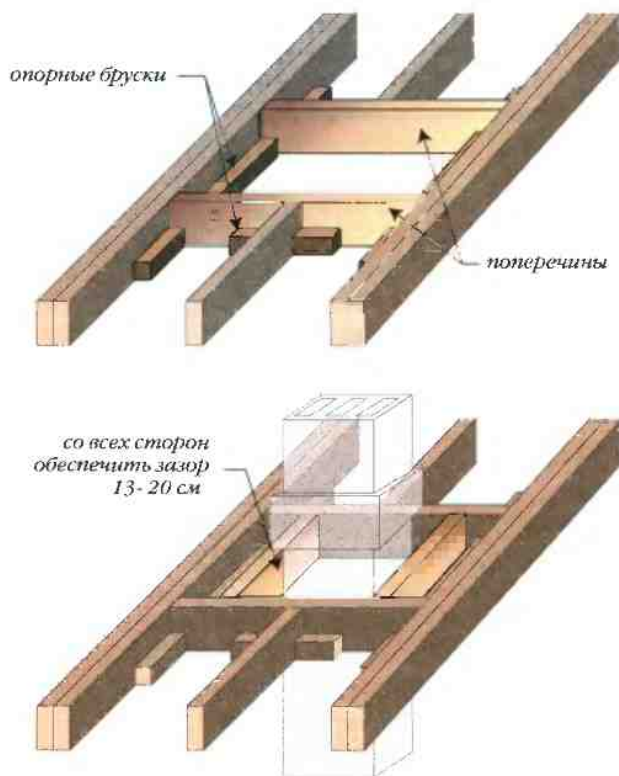


Рис. 46. Проход труб сквозь крышу

Последовательность работ по устройству крыши с наслонными стропилами

Скаты двускатных крыш должны иметь форму правильного прямоугольника, скаты вальмовых крыш — форму равнобедренных треугольников или трапеций. Это требование вызвано тем, что практически все штучные элементы кровельных покрытий имеют прямоугольную форму. При настилении их на не прямоугольный скат, например, имеющих ромбо- или трапециевидные очертания при разных высотных отметках конька либо неправильных размерах периметра стен, неизбежно получится незакрытый клин. Закрыть его можно только подгонкой штучных кровельных материалов, что создает дополнительные трудности, увеличивает расход материалов, снижает скорость строительства и, наконец, просто портит внешний вид здания, но самое главное — многократно повышает возможность протечки кровли.

Равнобедренные скаты вальмовых крыш дают возможность резать кровельные материалы по одному-двум шаблонам, а половинки некоторых кровельных материалов использовать на противоположных сторонах ската. Например, лист ондулина, разрезанный наискосок, можно использовать с двух сторон ската. Если по проекту или в результате небрежности скаты кровли имеют различные углы наклона, резку штучных элементов ведут

индивидуально. В итоге — значительно снижается скорость работ, ни о какой экономии стройматериалов не возникает и речи.

Для получения правильных форм скатов пужно перво-наперво произвести промер длины, ширины, диагоналей и высот отстроенного остова здания. Здесь может открыться масса неожиданных сюрпризов. Перепады по высоте на противоположных стенах могут достигать нескольких сантиметров, а периметр стен иметь углы, отличные от прямых. Проверку начинают с промера диагоналей по верхнему обрезу стен на каждом из прямоугольных участков здания. Если длина диагоналей не совпадает, то это означает, что стены либо имеют различные высотные отметки, либо в здании нет прямых углов и оно имеет ромбо- и трапециевидные очертания. В зданиях с фронтонами из материала стен нужно с помощью длинной палки проверить высоту противоположных фронтонов.

После проведения промеров нужно устранить выявленные дефекты стен. Постараться выровнять стены в горизонт и по возможности сделать углы прямоугольными. На зданиях с фронтонами из-за неправильной разбивки фундамента, а затем и строительства стен, перепады высотных отметок по верху фронтонов порой могут достигать 20 см. Исправить такой дефект можно только перекладкой фронтона, либо смириться с мыслью, что конек не будет горизонтальным, а следовательно и уклоны фронтонов будут разными. В принципе, такой высотный перепад не очень заметен на крыше, но каждую стропилину и каждый элемент кровельного материала нужно будет подгонять индивидуально.

Высотные перепады по периметру стен, несущих крышу, устраняются цементно-песчанной стяжкой. Стены по всему периметру проверяются водяным уровнем и поверх них выполняется выравнивающая стяжка. Используется раствор марки не ниже М 150. Большие перепады устраняются кладкой с подколом либо стены не выравниваются, а под мауэрлатные балки, что значительно хуже, вставляются деревянные подкладки, так часто, насколько возможно. Стены под лежень или установку стоек подстропильной конструкции, выравниваются в горизонт, но их не обязательно согласовывать с высотными отметками наружных стен. Внутренние стены под укладку лежня могут быть выше или ниже наружных, но обязательно горизонтальными. На внутренних стенах или на железобетонных перекрытиях под лежень можно не выравнивать верх, а просто подложить кирпичные столбики и выровнять в горизонт.

Все деревянные конструкции перед монтажом должны быть обработаны антисептиками и выдержаны время, определенное изготовителем химического состава.

После схватывания выравнивающей стяжки по внешним стенам раскатывают гидроизол, рубероид или другой рулонный гидроизоляционный материал и складывают его пополам по продольной оси. Полученная ширина гидроизоляции должна обеспечить его загибание на боковую поверхность мауэрлата, поскольку в кирпичных домах там еще укладывается кирпич для устройства карниза. В общем, гидроизоляция должна защитить деревянный мауэрлат от всех возможных соприкосновений с материалом стены. Если мауэрлат будет крепиться к стене анкерами, то гидроизоляцию накалывают на штыри. Если он будет крепиться скобами, то гидроизоляцию просто укладывают насухо. Иногда гидроизоляцию приклеивают к выравнивающей стяжке битумным праймером, не запрещено, но и особой надобности в том нет.

Существует масса способов разметки стропил и подстропильных балок, в том числе такие экзотические, как использование стропильных угольников Свенсона и Стенлея. Мы же опишем, как это чаще всего происходит в строительной практике, когда крышу делают обычные плотники, имеющие весьма смутное представление о геометрии как о науке. Однако они редко ошибаются и крыши у них получаются отменные.

Укладкой мауэрлата стараются исправить непрямоугольность периметра стен. Балки раскладываются на стену и проверяются диагонали здания, измеряя уже по углам мауэрлатной рамы (рис. 47). Сдвигая балки по стене добиваются равенства диагоналей, карандашом отмечается его окончательное положение. Балки мауэрлата распиливаются для устройства замков, собираются на стене и окончательно на ней закрепляются.

При установке мауэрлатной рамы есть один тонкий момент. Высоту мауэрлата нужно подобрать заранее, то есть должен быть вычерчен хотя бы эскизный проект. Иначе кобылки, прибиваемые к стропильной ноге, могут не пройти поверх обреза стены и стены придется подрубать. Поэтому, задаваясь высотой конька, стен и стропил, лучше заранее вычертить в масштабе разрез крыши и подобрать высоту мауэрлата и место его установки. Часто приходится наблюдать картину, когда при строительстве крыши без проекта мастера сдвигают мауэрлат к самому обрезу стены по наружной поверхности, а иначе у них не получается выпустить кобылку. В общем-то, ничего страшного в том, что мауэрлат устанавливается по наружной кромке стены нет, но только если это кромка стены, а ведь часто это кирпичный карниз, в котором кирпич уже выпущен за стену. Грамотнее было бы увеличить высоту мауэрлатной балки и оставить ее по центру стены или ближе к внутренней поверхности стены. Если увеличить высоту мауэрлата не удастся, то нужно просто выше поднять парапет с внутренней или разобрать часть стены с внешней стороны парапета. И все. Тогда и мауэрлат останется там, где должен быть и кобылка не упрется в стену.

Далее размечаем положение лежня. Отмеряя от мауэрлата, располагаем его строго по середине, тогда у нас получится крыша с равными скатами. Для устройства вальмовых крыш сдвигаем лежень на то же расстояние, от его торца до мауэрлата, вглубь дома, тогда угол наклона вальмы будет равен углу наклона основных скатов. Впрочем, если задумано изменение угла наклона вальмы относительно скатов, то сдвигаем лежень на то расстояние, которое нужно. Укладываем лежень на два слоя гидроизоляции и скрепляем его скобами или проволоочными скрутками с внутренней стеной. Скрутки либо заранее должны были быть заложены в стену при ее строительстве, либо они крепятся к самозаклинивающимся анкерам (ершам), установленным в стену. Если лежень укладывается на вновь выложенные кирпичные столбики, то крепим его к стене, а не к столбикам. В зданиях с железобетонными перекрытиями скрутки можно привязать к монтажным петлям. В зданиях с газосиликатными, пенобетонными и другими легкими стенами нужно предварительно сделать монолитный пояс и выпустить анкера. Лежень крепится анкерами. В общем, каким-либо из способов прикрепляем лежень к стене в проектное положение, верх лежня должен быть выверен в горизонт. Если крыша будет делаться без лежня, то аналогичным способом размечаются места установки стоек.

После укладки и закрепления лежня приступают к устройству лесов. Самая неприятная часть работы, тратится время и пиломатериал на непроизводительную работу. Тем не менее, леса должны быть сделаны надежно, по ним не только придется ходить но и работать



Рис. 47. Разметка мауэрлата и лежня

на них с грузом поднимаемых стропил и прогонов. Леса обязательно должны быть подперты подкосами и раскреплены перекрестными схватками, иначе они потеряют устойчивость и упадут.

Далее, вышпиливаются стойки на подстропильную конструкцию. Поскольку лежень был установлен в горизонт, то все стойки делаются одной проектной длины. В зданиях с фронтонами, сделанными с браком (разновысокими), между верхом фронтонов натягивается шнур и каждая стойка вышпиливается той длины, которая необходима с учетом высоты прогона и стропил. При установке стоек на лежень их проверяют на вертикальность в двух плоскостях (по двум граням): поперечной и продольной. Вертикальность проверяют отвесом или уровнем, приставляя его к боковой поверхности стоек. После чего стойки закрепляют в проектном положении. Проще всего раскрепить их досками к лесам.

Что делать раньше: устанавливать леса или стойки? Кому как удобнее. Можно сначала установить стойки и временно раскрепить их подкосами, а уже к ним пристраивать леса, можно, наоборот, сначала надежно поставить леса и к ним раскрепить стойки. Иногда пытаются работать с лестниц-стремянкок. Стойки выставляют и раскрепляют, а для укладки прогона и стропил на стойки опирают лестницу. Это опасно. Во-первых, под тяжестью человека и груза, который он держит, например, при укладке прогона, ступеньки лестницы могут подломиться. Во-вторых, плохо раскрепленная стойка может потерять устойчивость и упадет вместе с лестницей к ней прислоненной. И наконец, в-третьих. Попробуй-ка нормально работать, когда у тебя под ногами 60-сантиметровая жердочка, а тебе нужно ворочать тяжелый прогон или стропило, чтобы его правильно установить.

На стойки укладывается прогон. Если все сделано правильно, верх лежня горизонтальный, стойки одной высоты и установлены вертикально в двух плоскостях, то прогон просто ляжет на свое место. В зданиях с разновысокими фронтонами, верх прогона должен быть параллелен натянутому шнуру. Для вальмовых крыш не забываем выпустить прогон за стойки, образуя консоли для опирания накосных стропил.

Еще раз проверяем подстропильную конструкцию на вертикальность и прогон на горизонтальность, поправляем, если что нужно и раскрепляем все узлы до проектного положения: прибиваем деревянные накладные доски, ставим скобы или металлические пластины, но оставляем всю подстропильную раму временно раскрепленной к лесам или к подкосам.

Далее, устанавливаем пробную доску стропильной ноги. Есть несколько способов распиловки и подгонки стропила (рис. 48). Мы остановимся на наиболее простых и чаще всего используемых, для которых не требуется никаких приспособлений, кроме головы и рук.

1. Стропила размечаются на ползун и на узел с опорным брусом.

Внизу расположен ползун либо шарнирно неподвижная опора с опорным брусом, верх стропила просто укладывается на прогон и сшивается с другой стропильной ногой нахлестом либо упирается в другую стропильную ногу.

Доска укладывается верхним концом на верхнее ребро прогона, нижней на внутреннее верхнее ребро мауэрлата. На мауэрлат кладется один или два обрезка стропила и очерчивается линия параллельная мауэрлату. При резке на ползун стропило не меняет уклона оно просто опускается ниже и упирается в мауэрлат, при необходимости его можно дополнить опорным брусом. Если стропило разметить и разрезать на зуб, то после обрезки врубка становится неверной.

После обрезки и установки первой стропильной ноги также устанавливается и обрезается противоположное стропило. Верх стропильных ног оставляют как есть до полной установки всех стропил. Затем их либо обрезают по грани другого стропила и сбалчивают или сшивают гвоздевым боем либо размечают на них вертикаль и отпиливают лишнее, стыкуя стропила друг в друга. Распиливать одновременно два стропила верха стропил не рекомендуется, так как толщина зубьев пилы оставит большой зазор и стропила плотно не состыкуются. Лучше раздвинуть стропила и отпилить им верхушки по отдельности, у одного слева от черты, у другого справа. При хорошем качестве работ стропила состыкуются без зазора. Раньше стропила распиливали ручными пилами с относительно тонким по-

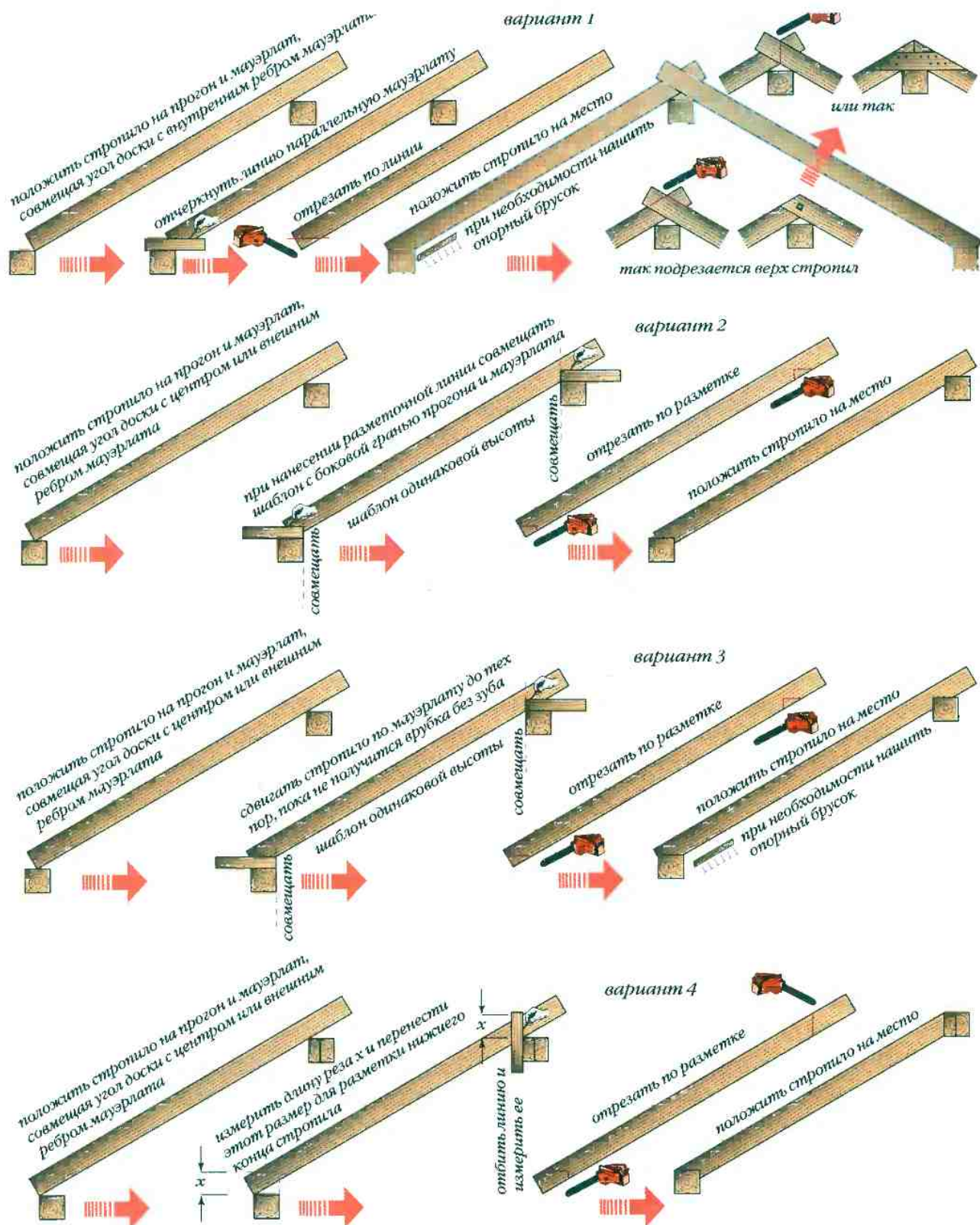


Рис. 48. Варианты разметки и разрезки стропил при разных способах опирания (начало)

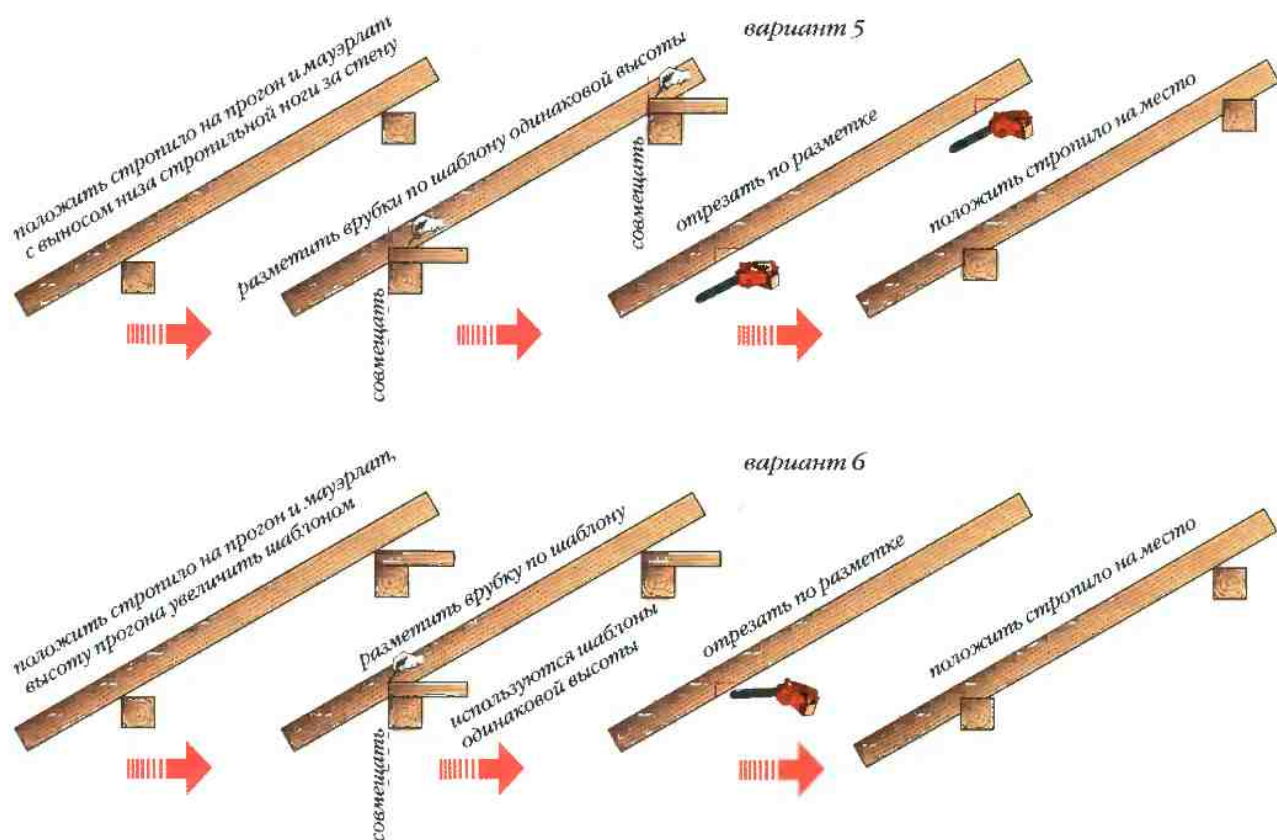


Рис. 48. Варианты разметки и разрезки стропил при разных способах опирания (окончание)

лотном и небольшим разводом зубьев, тогда действительно можно было пилить два стропила вместе. Сейчас чаще используют бензопилы, а они оставляют распилы до 4 мм, такая толщина не позволит состыковать верха стропил без зазора.

2. Внизу и вверх шарнирно неподвижные опоры.

Внизу стропильной ноги делается врубка для зацепления с мауэрлатом зубом, вверх врубка треугольником. Если верхнюю врубку сделать точно по профилю прогона, то узел будет работать как шарнирно неподвижная опора, если вертикальную щеку врубки сделать со скосом, то узел превратится в шарнирно подвижный.

Стропильная доска укладывается ребром на прогон и мауэрлат. Нижняя часть доски упирается в мауэрлат в любой точке его поверхности. Сбоку на мауэрлат укладывается шаблон, например, это может быть обрезок стропила с хорошо отторцованными (торцы отпиливаются под прямым углом) краями. Шаблон сдвигается к внутреннему углу мауэрлатной балки и совмещается с ее вертикальной поверхностью. Низ стропильной ноги начинают двигать по мауэрлату, добиваясь того, чтобы на стропилине получилась врубка с зубом. Это довольно просто, уложив доску-шаблон и двигая стропило, визуально видно, какой получится врубка. Добившись нужного размера врубки, очерчивают линии, по которым будет произведена распиловка стропила. Шаблон переносят на верхнюю врубку, а чаще, вверх на лесах стоит другой человек и у него есть свой шаблон (вырезали из одной доски, поэтому они одинаковые), по команде первого он устанавливает шаблон на прогон, ровняя его торец с вертикальной плоскостью прогона, и очерчивает вторую врубку. Стропило, не снимая с прогона и мауэрлата, переворачивают и выпиливают врубки. Затем устанавливают его в проектное положение.

Почему в качестве шаблона используется отторцованный обрезок доски, ведь можно же применить уровень и рулетку? Можно, но обрезок доски дает визуальное представление о будущем профиле врубки, а уровень в этом случае лучше вообще не использовать. Деревянные балки, вследствие высыхания, далеки от правильной прямоугольной геометрии, чаще всего, при кажущейся ровности, они на самом деле горбатые и скрученные. Поэтому лучше на их плоскости класть другую доску и по ней очерчивать врубки. Плотники используют для этой цели ножовку, например, очерчивая врубку для посадки на прогон, они прикладывают ножовку ребром без зубьев к вертикальной грани прогона и наносят карандашом черту на стропиле. Как бы не закрутилась балка прогона, черта повторит ее профиль, а вот уровень, показывающий вертикаль, дал бы ошибку. Так что лучше воспользоваться вековой мудростью: обрезать доску, отторцовать ее и использовать в качестве шаблона. Толщина доски выбирается в зависимости от глубины врубок и для каждого проекта своя, чаще всего, шаблон делается из той же доски, что и стропила.

3. Внизу шарнирно подвижная опора (ползун), сверху — шарнирно неподвижная.

Внизу стропильной ноги делается опора на ползун, который при необходимости, установкой опорных брусков, может быть превращен в шарнирно неподвижную опору. Вверху делается врубка на треугольник, который, в свою очередь, подрубкой боковой щеки может перевести узел из шарнирно неподвижного в шарнирно подвижный.

Делается все то же самое, что и во втором варианте, описанном выше, с единственной разницей, когда нижний конец стропильной ноги двигают по стропилу, то добиваются, чтобы стропило было обрезано в одной плоскости, то есть без зубчатого зацепления.

4. Внизу и сверху стропильной ноги шарнирно неподвижные опоры.

Внизу стропильной ноги делается врубка на зуб, сверху конец стропильной ноги упирается в прогон или накосное (диагональное) стропило.

Стропильная доска ребром укладывается на прогон и мауэрлат. Нижний угол доски совмещают с внешним ребром мауэрлата. Вверху шаблон или ножовка прикладывается к вертикальной поверхности прогона и на стропилине очерчивается линия распила. Для устройства примыкания к накосным стропильным ногам очерчиваются две линии с обеих сторон обрабатываемой доски. Измеряется длина линии распила (х): рулеткой или на шаблоне делаются карандашные метки. Шаблон переносится на нижний узел опирания, его приставляют к внутренней вертикальной плоскости мауэрлата и от его ребра откладывают размер (х) на стропильную доску. Затем любым способом, чаще всего, прикладыванием доски, проводят линию параллельную верхней плоскости мауэрлата.

Сдвиганием низа стропильной ноги по мауэрлату добиваются увеличения или уменьшения глубины врубки зуба. На крышах с крутыми скатами зуб может вообще не получиться, не страшно, поможет установка опорного бруска. Изменением размера (х) при перенесении его на нижний узел можно изменять характер опирания в верхнем узле, то есть ровнять стропило по верхней или нижней грани прогона. Если уменьшить (х), стропило вверх поднимется, увеличить — опустится.

Доску переворачивают, распиливают ее по меткам и устанавливают в проектное положение. В стропилинах, опирающихся на черепные бруски накосной стропильной ноги, делают разметку врубки, доску еще раз переворачивают, делают врубку и ставят на место. Врубка для посадки на черепной брусок делается аналогично, нужно только приподнять низ стропила на высоту черепного бруска: подложить под него обрезок черепного бруска или просто поддержать конец доски на весу, пока помощник размечает врубку.

5. Разметка стропильной ноги, выпущенной за стену, то есть стропило устанавливается без кобылок. Вверху шарнирно неподвижная опора, внизу — ползун.

Стропильная доска укладывается ребром на прогон и мауэрлат. Низ доски выносится за пределы стены и удерживается на весу. На мауэрлат и прогон устанавливаются шаблоны с выравниванием торцов по наружной вертикальной поверхности балок. Очерчивается линия распила, доска переворачивается и вырезаются врубки. Стропило устанавливается в проектное положение.

6. Разметка только нижнего узла опирания, внизу и сверху шарнирно подвижные опоры — ползупы. Устойчивость конструкции обеспечивается коньковым узлом при связывании верха стропильных ног.

Делается все то же самое, что и в предыдущем случае, но на прогон укладывается шаблон, который сохраняет угол наклона ската. После того как будет выпилена нижняя врубка, а шаблон снят с прогона, стропило задвигается в проектное положение.

Все перечисленные варианты подрезки стропил работают по одному принципу: стропильная доска устанавливается в требуемое положение, из которого она после устройства врубок, задвигается на посадочные места сверху или сбоку, без изменения угла наклона.

Если мауэрлатную раму удалось расположить в горизонт и выровнять диагонали, а прогон установить горизонтально, то достаточно изготовить одну стропильную ногу, а все другие делать по ней, используя первую как шаблон. Если стены дома настолько кривые, что диагонали на мауэрлатной раме не удалось выровнять либо на домах с фронтонами разновысокие фронтоны, то устанавливают по паре стропильных ног с обеих торцов здания. Между ними натягивается шнуры и все остальные стропила изготавливаются индивидуально, поскольку каждая из них будет отличаться от предыдущей. При установке постоянно проверяется плоскостность скатов. Это делается либо натягиванием шнуров между крайними стропилами, либо на стропила сверху кладется длинная ровная доска, которую двигают по ребрам стропильных ног и проверяют их на просвет.

Стропила устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга, это расстояние называется шагом. При проектировании крыши шаг установки стропил задается по продольным осям стропильных ног, это не очень удобно при монтаже. Поэтому для измерения шага изготавливают 2-3 рейки длиной равной шагу стропил за минусом толщины стропилины, то есть длина рейки будет равна расстоянию между кромками стропил — расстоянию в просвете. Установив одну стропильную ногу, место нахождения другой определяют приставляя к первой рейку.

После того как все стропила будут установлены, еще раз проверяют расстояние между ними и узлы опирания закрепляют в проектное положение: крепят скобами, специальными металлическими пластинами, деревянными бобышками, гвоздевым боем, болтами.

Затем приступают к установке кобылок. Кобылка — это выпуск стропила за стену, обеспечивающий свес крыши. Обычно их изготавливают из доски половинной высоты и толщины от сечения стропильной ноги. Крепят кобылки к стропилине гвоздевым боем. Длина крепежной части составляет около 60–80 см, а свободного свеса над стеной — 40–50 см. Если кобылки соприкасаются с материалом стены, а чаще всего, они соприкасаются, то их в этих местах нужно обернуть рулонным гидроизоляционным материалом.

Свес карниза выбирается, как бы странно это не звучало, от длины рук. Карнизный свес впоследствии часто подшивается погонными материалами, следовательно нужно как-то дотянуться, например, с доской вагонки до конца свеса, удержать доску в проектное положение и прибить ее. Если свес короткий, то стена здания может намокать от косого дождя, длинный — не хватит рук для устройства подшивки и нужно устанавливать леса, а на высотах до 10 м для самостоятельного строителя это весьма проблематично. В кирпичных домах стены выкладывают с выпуском кирпича и устройством карниза из материала стены, тем самым увеличивая свес. В домах из легобетонных материалов свес делается либо 40–50 см, либо придумываем леса. Если карниз ничем не будет подшиваться, то свес можно сделать длиннее, но не более 60 см. Более длинные свесы должны подпираться выпущенными (или закрепленными другим способом) из стены консолями, которые могут выполнять еще и декоративную функцию.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ВИСЯЧИХ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Висячие стропильные системы (рис. 49) для малоэтажного жилого строительства применяются редко. Главная их особенность состоит в том, что эти крыши не нуждаются во

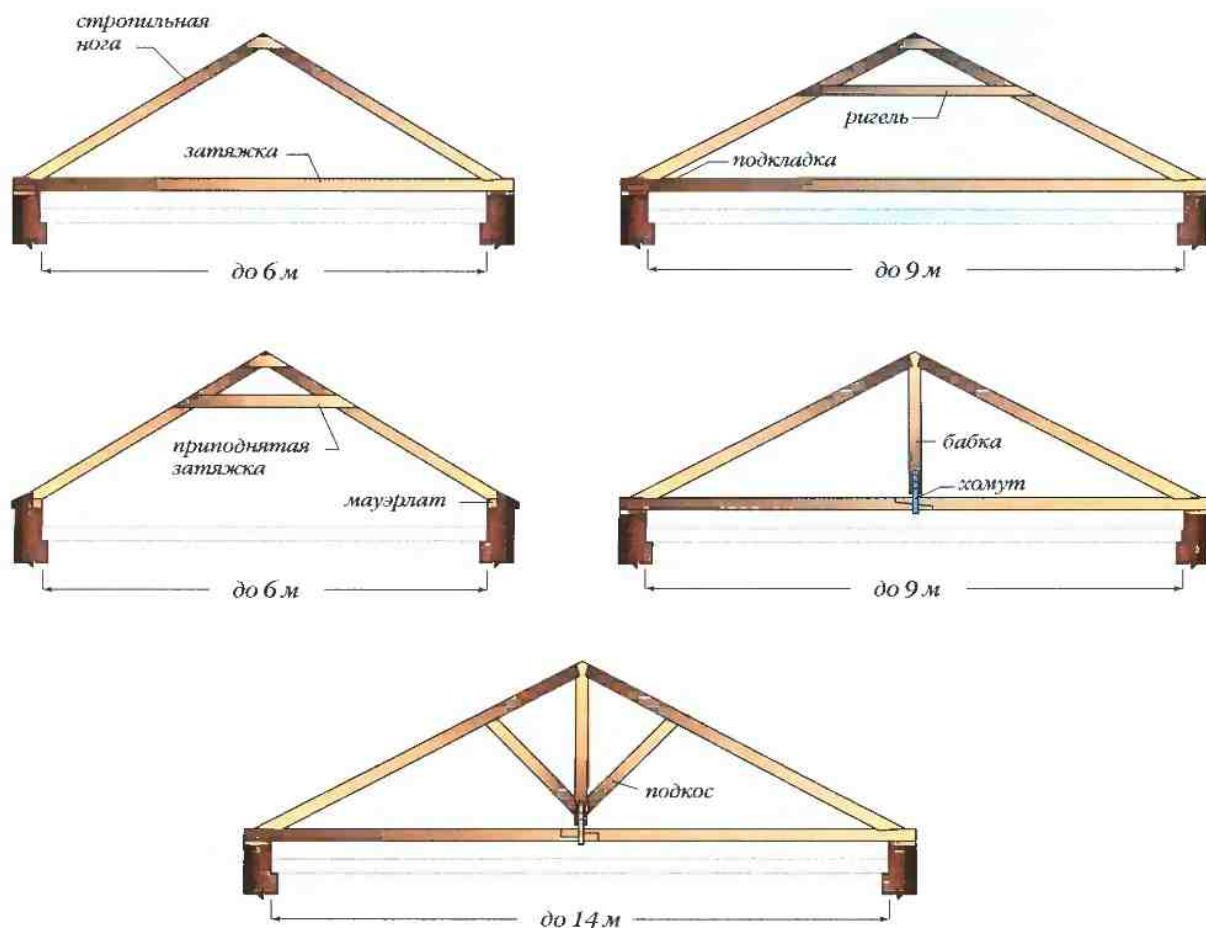


Рис. 49. Схемы и элементы висячих несущих деревянных стропил

внутренних опорах, а жилые дома, как правило, имеют внутренние несущие стены. В изготовлении висячие стропильные системы сложнее, чем наслонные, поэтому предпочтение и отдается последним. А точнее, сложен не столько сам процесс изготовления висячих стропил, а их монтаж на стены. Если наслонные стропильные системы можно собирать вручную из относительно легких элементов, то висячая стропильная ферма собирается на земле, а потом краном монтируется на стены либо разбирается, подается наверх вручную и собирается вновь.

Простейшая ферма из висячих стропил представляет из себя треугольник: две стропильных ноги, упертые верхом друг в друга, и затяжки. Это распорная конструкция. Однако на стены здания распор не передается, он полностью нейтрализуется затяжкой. Если наслонные стропильные системы можно делать как распорными, так и безраспорными, с соответствующим креплением мауэрлатной балки, то висячие стропильные системы не передают на стены никаких горизонтальных усилий, только вертикальные. Хотя, сама по себе, треугольная схема, безусловно, является распорной системой. Другими словами, распор, возникающий в системе, в ней и остается, внешне никак себя не проявляя, что упрощает устройство узлов опирания на стены. Под висячие стропила не нужно укладывать мауэрлат. На гидроизоляционный слой достаточно подложить деревянную доску, которая нужна здесь для выравнивания ферм в горизонт и для того, чтобы не произошло смятие древесины (для увеличения площади опоры узла опирания фермы).

Работу различных систем висячих стропил рассмотрим на примерах расчетных схем.

Схема 1. Висячие стропила делаются в форме замкнутого треугольника, такую схему часто называют трехшарнирной треугольной аркой (рис. 50). Стропила в ней работают на изгиб, затяжка — на растяжение. Рекомендуемая минимальная высота подъема конька не менее $1/6$ пролета арки. По аналогии с наслонными стропильными схемами, каждая стропильная нога рассчитывается как простая сжатоизогнутая однопролетная балка по формуле (5). Затяжка, не несущая полезной нагрузки, рассчитывается только на растяжение; она может быть заменена на стальной тяз.

Конструкции трехшарнирных арок часто используются для мансардных чердаков с деревянным перекрытием, где на затяжку возлагают дополнительную обязанность: нести на себе перекрытие этажа. Тогда затяжка рассчитывается только на изгиб и прогиб от действия веса перекрытия и полезной нагрузки. Расчет на растяжение пренебрегают, так как напряжение от изгиба в разы превышает напряжение от растяжения, а поскольку эти напряжения разнонаправлены, растяжение затяжки просто не берут во внимание. Дополнительная прочность затяжки, полученная в результате отброса из расчета растягивающего усилия, не засчитывается в «запас прочности», то есть при расчете в сбор нагрузок должен быть включен коэффициент надежности 1,4, как и положено для балок перекрытия.

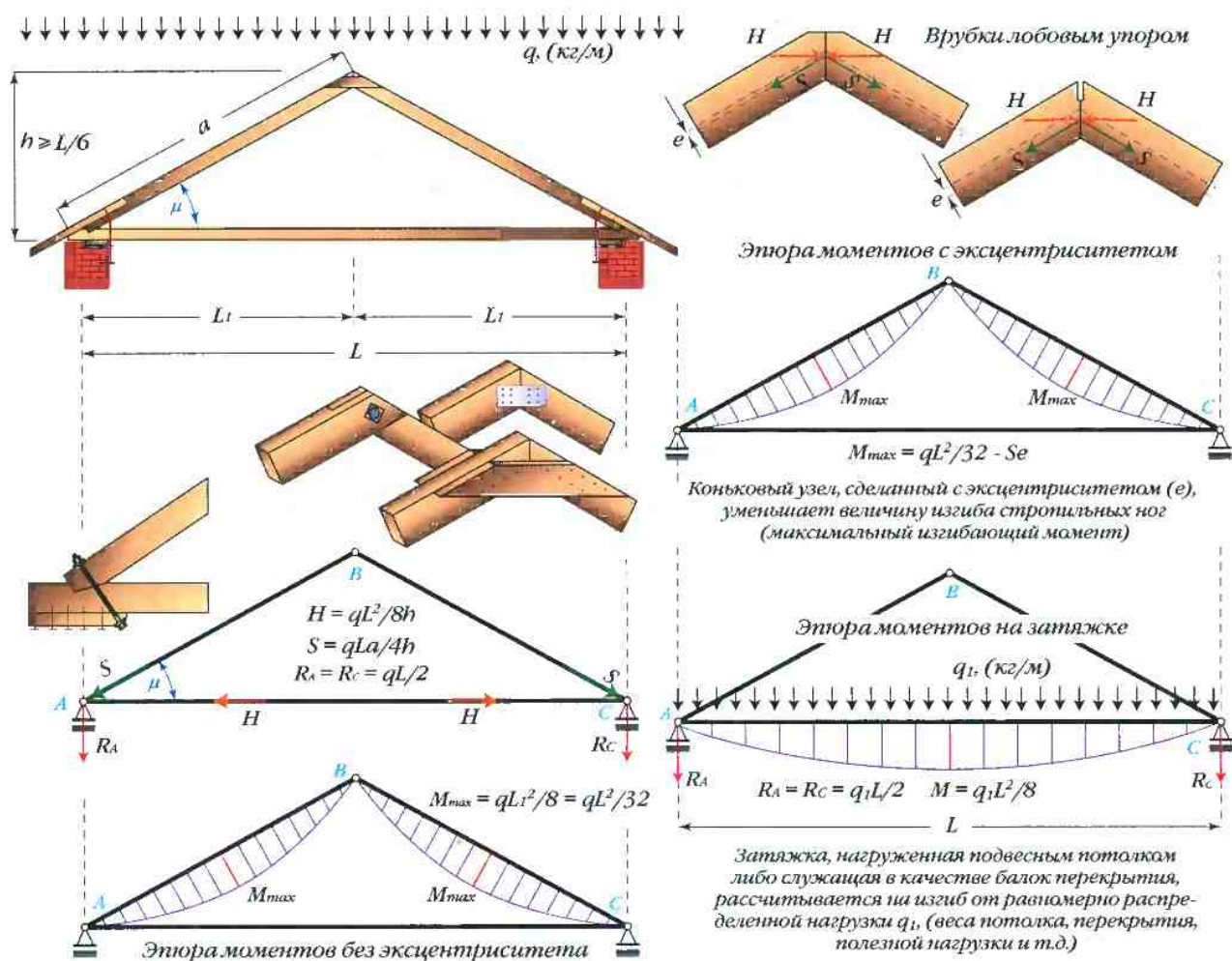


Рис. 50. Трехшарнирная треугольная арка, расчетная схема

Для уменьшения расчетного изгибающего момента концы стропильных ног можно не просто упира́ть друг в друга, а делать это с эксцентриситетом относительно их продольных осей. Тогда в стропилах появляется дополнительный изгибающий момент, направленный в противоположную сторону от изгибающего момента, вызванного действием внешней нагрузки (снега, ветра, кровли и собственного веса конструкций). Расчетный момент уменьшается и соответственно уменьшается сечение стропильных ног. Площадь опирания стропил друг в друга должна быть проверена на смятие от действия в этом узле сжимающих сил.

Карнизный узел (место врубки стропила в затяжку) должен быть рассчитан на скол и смятие древесины. Расчетное сопротивление древесины скалыванию силой, направленной под углом α к волокнам, определяется по формуле, приведенной на стр 33, а смятию по аналогичной формуле:

$$R_{см\alpha} = R_{см} / (1 + (R_{см} / R_{см90} - 1) \sin^3 \alpha), \quad (10)$$

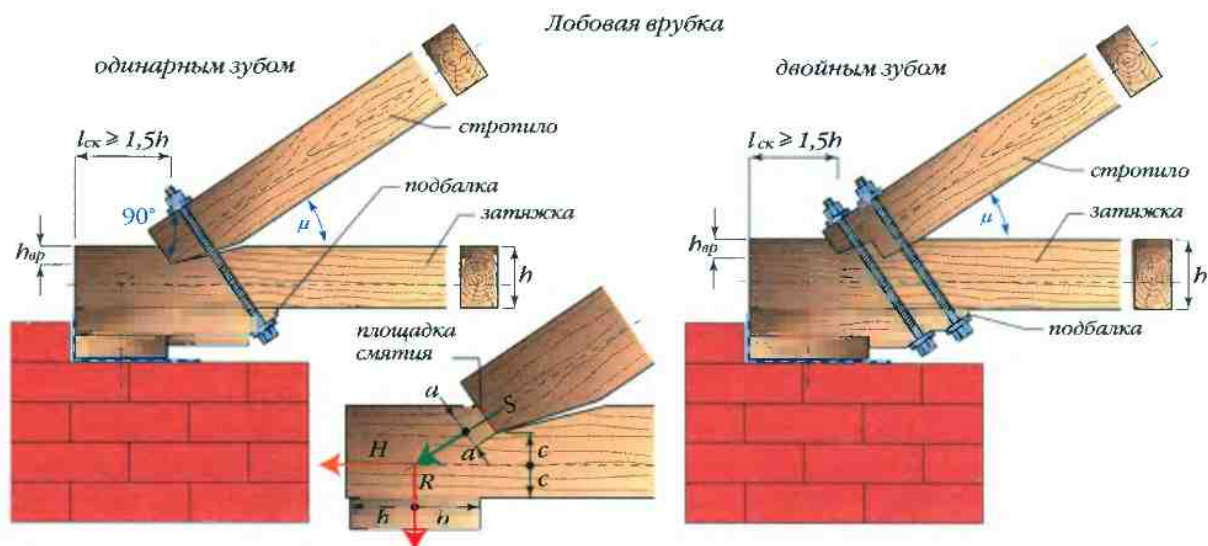
где $R_{см}$ и $R_{см90}$ (кг/см²) — расчетные сопротивления древесины смятию вдоль и поперек волокон.

В лобовых врубках (рис. 51) с одним зубом рекомендуется расчетную площадку смятия располагать так, чтобы ось примыкающего сжатого элемента (стропила) проходила через центр этой площадки. Иначе в стропильной ноге возникает дополнительный изгибающий момент. Оси стыкуемых элементов должны пересекаться точно над серединой подкладки, причем ось растянутого элемента (затяжки) располагается по центру ослабленного сечения (с учетом глубины врубки) — это требование СНиПа. При невозможности соблюдения геометрические размеры врубок нужно изменить сечение брусев или перейти к другой конструкции, например, с двойным зубом или лобовым упором.

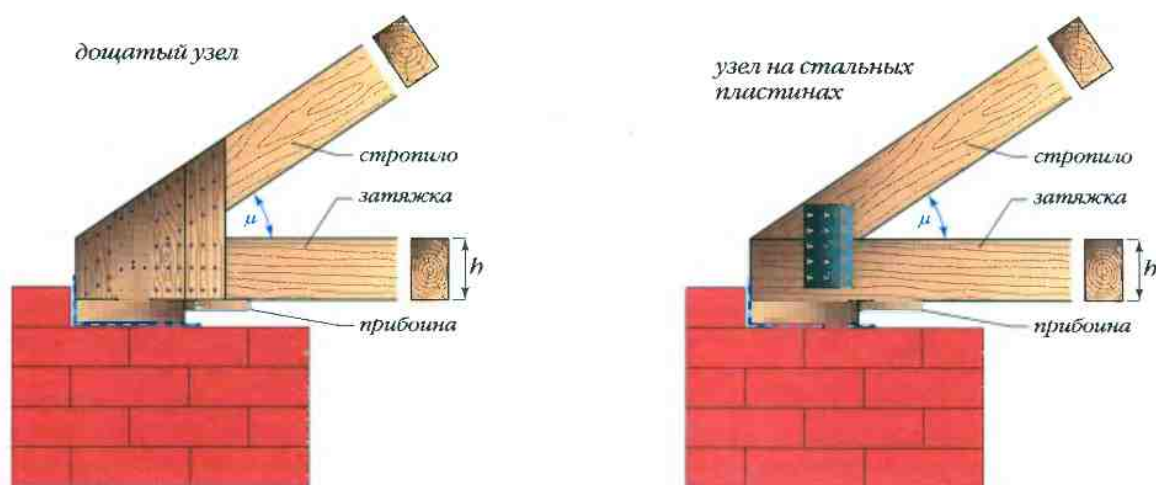
Как показали многочисленные испытания лобовых врубок карнизного узла, стропильную ногу в месте врубки нужно отторцовать (отпилить под прямым углом) и в таком виде примыкать к врубке затяжки. Эта врубка называется ортогональной, в ней опорная площадка врубки располагается перпендикулярно продольной оси стропила. Есть и другой тип лобовой врубки — биссектрисная врубка, это когда конец стропила отпиливают по биссектрисе внешнего угла примыкания стропил и затяжки. Такая врубка увеличивает площадь опирания стропила к затяжке и, казалось бы, должна лучше работать, так как увеличивает площадку смятия древесины. Однако это не так, биссектрисная врубка под нагрузкой, вследствие рассыхания карнизного узла, меняет характер своей работы и становится хуже ортогональной. Поэтому биссектрисное решение лобовой врубки не рекомендуется к применению. Оно может быть оправдано лишь при больших углах примыкания одного элемента к другому.

В лобовых врубках с двумя зубьями обе площадки смятия должны быть расположены перпендикулярно к оси примыкающего элемента (стропила). Площадка второго более глубокого, зуба должна начинаться в точке пересечения оси стропила с верхней кромкой ослабляемого элемента (затяжки), а площадка скалывания этого зуба должна быть расположена не менее чем на 2 см глубже площадки скалывания первого зуба. Применение других типов врубок с двумя зубьями, особенно врубок с равной глубиной врезки обоих зубьев, не допускается.

Стяжные болты, устанавливаемые в карнизном узле, — страховка, необходимая для того, чтобы при скалывании древесины конца затяжки, стропила не раскрылись, как пожницы. Также болты нужны для монтажной сборки, чтобы арка не рассыпалась при установке ее на стены. Диаметр стяжных болтов принимается не менее 1/25 его длины и не тоньше 12–16 мм. В досках толщиной менее 10 см вместо болтов ставят хомуты. Хомуты и скобы можно устанавливать взамен болтов и в других случаях, в особенности в промежуточных узлах. Ослаблять затяжки врубками для шайб стяжных болтов не допускается. Для указанной цели необходимо ставить подбалки с уступом, с помощью которого автоматически центрируется опорный узел при установке треугольных арок на стену. Толщина подбалки в тонком конце принимается не менее 5–6 см, а в толстом — не менее 7–10 см. Скрепление подбалки с аркой производится конструктивно гвоздями длиной 125–175 мм.



Длину плоскости скалывания лобовых врубок следует принимать не менее $1,5h$, где h - полная высота сечения скалываемого элемента. Глубину врубки ($h_{вр}$) следует принимать не более $1/3h$, при этом глубина врубок $h_{вр}$ в брусках должна быть не менее 2 см, а в круглых лесоматериалах - не менее 3 см.



Количество гвоздей подбирается по расчету на срез одного гвоздя. Количество досок (площадь) определяется от количества гвоздей (площади гвоздевого поля). Стальные пластины выбираются на сопротивление растяжению по техническим характеристикам изготовителя крепежа.

Рис. 51. Варианты решения карнизного узла ортогональными лобовыми врубками, дощатым и пластинчатым креплениями

Если карнизный узел будет сделан с креплением досок-коротышей гвоздевым боем, то для определения количества гвоздей нужно провести расчет на срез гвоздей.

Схема 2. В наслонных стропильных системах самым длинным элементом была стропильная нога, в висячих системах — это затяжка. Уже при пролете в 6 м сделать деревянную затяжку из цельного бруса становится проблематичным. Да и шестиметровая затяжка из бруса может сильно прогибаться под собственным весом. Поэтому затяжку подвешивают к коньку арки. Подвеску делают деревянной и называют бабкой или железной —

тяжем. Затяжку в этом случае можно сделать из более коротких элементов и состыковать на хомуте подвески косым или прямым прирубом со скручиванием болтами.

Подвеска в треугольной арке такой конструкции (рис. 52) работает только на растяжение от прогиба затяжки под собственным весом. Это чисто конструктивный элемент, поскольку развиваемые в ней напряжения растяжения мизерные. Поэтому подвеску можно делать из того материала, который более подходит по практическому применению. Например, в чердачных неэксплуатируемых крышах подвеску проще сделать из стального прута, а в мансардных — из дерева и совместить ее, предположим, с перегородкой.

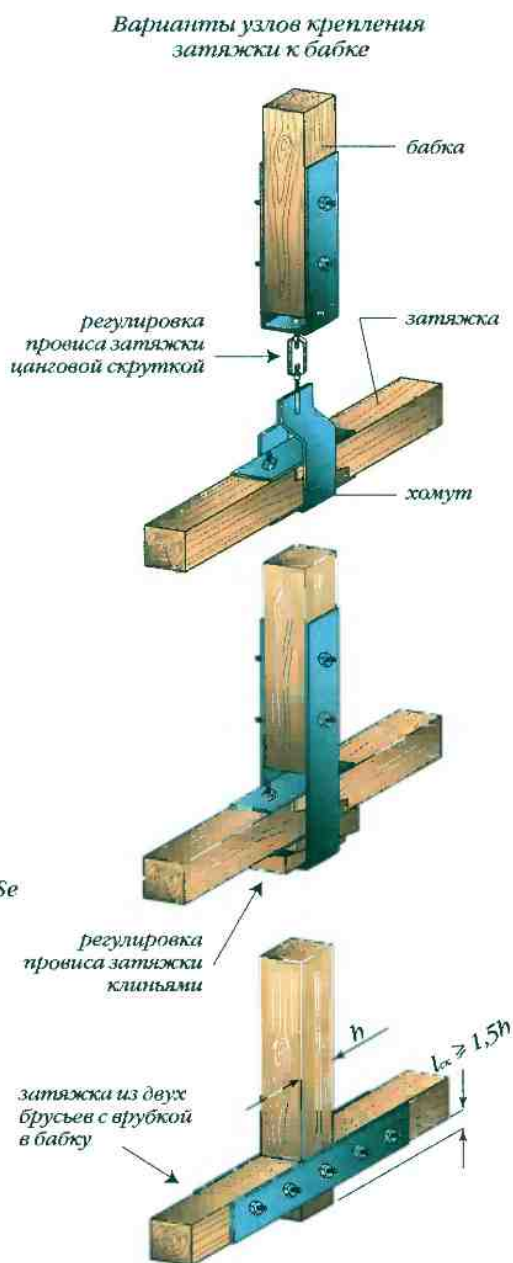
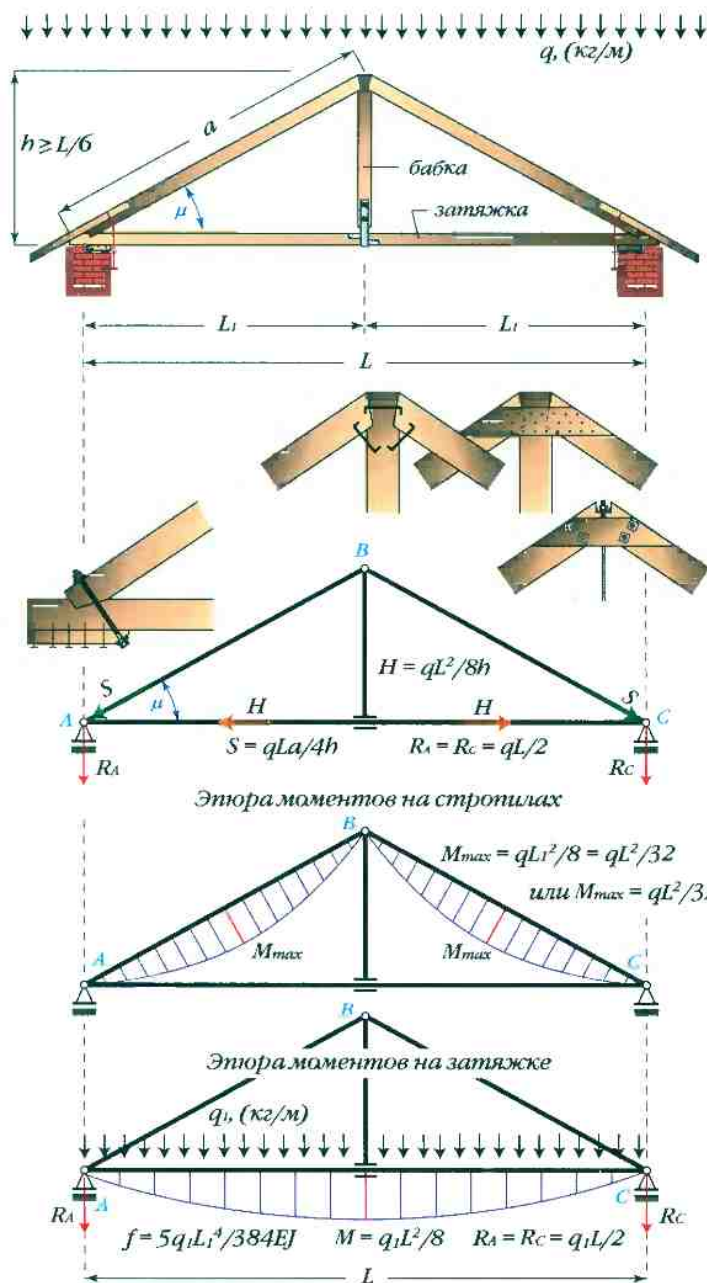


Рис. 52. Треугольная трехшарнирная арка с подвеской (бабкой)

Самая распространенная ошибка при устройстве подвесок установка их по схеме стоек, с упором на затяжку и в карнизный узел. Стойки работают на сжатие, а подвеска должна работать на растяжение. Внешне установка подвески и стойки могут быть очень похожи, например, если их крепление производится деревянными прибоинами на гвоздях. Отличие должно заключаться в том, что низ бабки (подвески) не должен доходить до затяжки. Бабка должна висеть на карнизном узле, а уже к ней деревянными накладками и гвоздевым боем или болтами можно прикрепить затяжку. Со временем такая конструкция может провиснуть, поэтому в нижней части подвески применяются хомуты, которые подтягивают или ослабляют забиванием клиньев. Хомуты можно сделать на резьбовом соединении и регулировать натяжение стягиванием цанговой скрутки. Нерегулируемый в нижней части узел делается врубанием затяжек в бабку и скреплением их болтами через стальные пластины. Регулировка натяжения бабки после просадки конька крыши производится в коньковом узле цанговой скруткой или болтами либо совсем не производится.

Расчет затяжки на изгиб под действием веса мансардного перекрытия и полезной нагрузки ведут как и в предыдущем случае: по моменту изгиба обычной однопролетной балки с опорами на стенах. Однако проверку на прогиб делают только для половины затяжки, от опоры на стене (карнизного узла) до опоры на хомуте. Подвеска не дает затяжке прогнуться в центре пролета, но не является для нее третьей опорой. По сути, это подвариант схемы 1, в котором с помощью подвески и хомута уменьшен прогиб затяжки.

Но возможен и другой вариант работы затяжки в мансардном перекрытии. Рассчитать ее как две однопролетных балки с общей опорой на хомуте и в результате этого уменьшить сечение затяжки. В этом случае она будет оказывать значительное растягивающее напряжение на подвеску. А та, в свою очередь, на коньковый узел арки и, в конечном итоге, на стропила. Треугольная арка, задуманная по такой схеме, должна рассчитываться: затяжка как две однопролетных балки — на действие изгибающего момента от полезной равномерно распределенной нагрузки мансардного помещения и распор от стропильных ног; стропила — на действие внешней равномерно распределенной нагрузки (веса снега, кровли, давления ветра и т. д.) плюс сосредоточенная сила, приложенная в коньке арки, равная сумме опорных реакций от двух однопролетных балок затяжки на хомуте; подвеска — на растяжение от опорной реакции хомута. Рассчитывать затяжку как двухпролетную балку на трех опорах не рекомендуется, так как опора на хомуте не является полноценной — она зыбкая (податливая опора). Опора будет передавать на подвеску растягивающее усилие, но вследствие возможной просадки конька изгибающий момент на ней будет стремиться к нулю, поэтому затяжку лучше рассчитывать как две отдельные балки.

Эта схема (рис. 53) конструктивно интересней, чем та, в которой затяжка рассчитывается как одна однопролетная балка. В ней не только уменьшается сечение затяжки, но и в стропильных ногах с коньковым узлом, сделанным с эксцентриситетом (e), возникает изгибающий момент по знаку противоположный изгибающему моменту от внешней равномерно распределенной нагрузки. Сосредоточенная сила, возникшая в коньковом узле арки от действия подвески, не увеличивает изгиб стропил, приложенная в шарнире, она вообще не создает изгибающего момента, а раскладывается на два вектора, сжимающих стропильные ноги, а вот они, расположенные с эксцентриситетом от продольной оси стропил, уже создают изгибающий момент, направленный в противоположную сторону.

Другими словами, внешние силы пытаются согнуть стропильные ноги внутрь помещения, а внутренние, наоборот, пытаются выгнуть стропила наружу. Из-за чего, уменьшается изгибающий момент в стропилах, а значит, и их сечение, но при этом увеличивается распор в затяжке. Увеличение растягивающего напряжения в затяжке уменьшает ее прогиб от действия изгибающего момента, возникающего от полезной нагрузки перекрытия мансарды. В общем, трехшарнирная арка сама себя напрягает и вытягивает в стропу свои элементы, становясь довольно жесткой конструкцией — это прообраз строительной фермы.

Треугольные трехшарнирные арки, задуманные для работы по такой конструктивной схеме, следует делать с обязательным эксцентриситетом (e) в коньковом узле, располо-

женном ниже продольной оси стропильной ноги. Иначе все может получиться в точности до наоборот. При значительном растягивающем напряжении в подвеске коньковый узел без эксцентриситета будет передавать сжимающие усилия от подвески по центральной оси стропила, а оно под действием внешней нагрузки слегка прогнется внутрь крыши и тогда возникнет так называемый случайный эксцентриситет, расположенный выше продольной оси стропила. Изгибающий момент от действия сжимающей силы и случайного эксцентриситета будет направлен в ту же сторону, что и изгибающий момент от внешних сил. Стропильная нога вместо того, чтобы выпрямляться, как это бывает со специально сделанным эксцентриситетом, наоборот, еще больше прогнется внутрь крыши.

Расчет стропила по несущей способности делают по формуле (5), как для обычной сжатой изогнутой однопролетной балки, а прогиб определяют по общей формуле прогиба однопролетной балки минус обратный прогиб от двух разгружающих моментов, возникающих из-за внецентренного действия сжимающей силы ($M_{стр} = Sc$):

$$f = 5qL_1^4/384EJ - 2M_{стр}L_1/16EJ \quad (11)$$

В карнизном узле стыкование стропила с затяжкой нужно делать так, чтобы ось приложения сжимающей силы (с эксцентриситетом e) приходила в центр площадки опирания

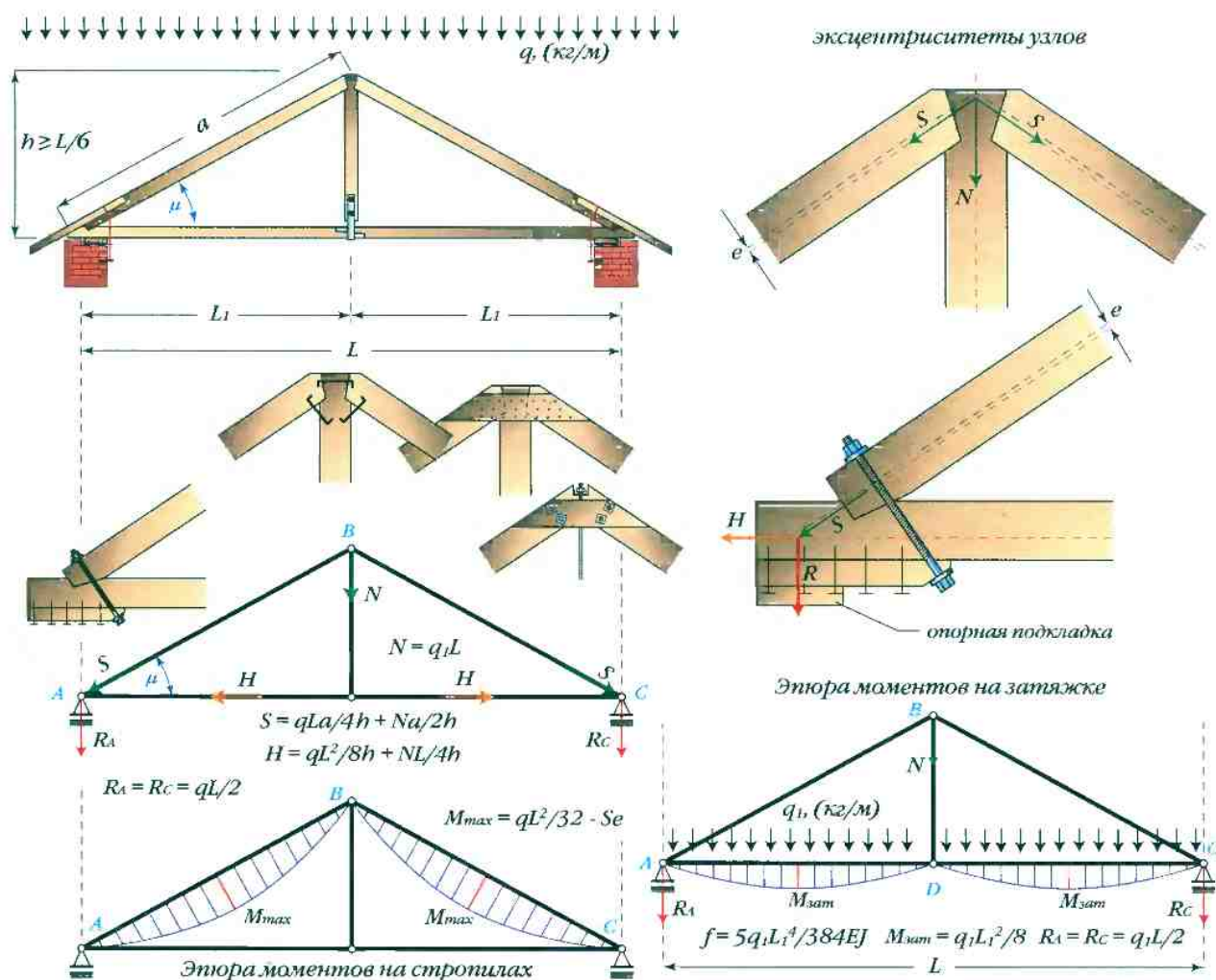


Рис. 53. Треугольная трехшарнирная арка с подвеской, работающей как третья (податливая) опора для затяжки

стропила. Опираение затяжки (и всей арки в целом) на подкладку центрируем под местом пересечения осей с заданным эксцентриситетом (e) (на рисунке оси обозначены красным цветом), тогда в затяжке не появятся лишние изгибающие моменты.

Опорные подкладки арки в виду их особой значимости нужно центрировать и прикреплять к арке еще в процессе изготовления врубок карнизного узла. А при монтаже устанавливать уже готовую арку целиком или частями на другие, выравнивающие стену в горизонт, деревянные подкладки.

Расчет затяжки производится по формуле растянутоизогнутого элемента:

$$\sigma = S/F + MR_{рас}/WR_{изг} \leq R_{рас}, \quad (12)$$

где S (кг) — растягивающая сила, действующая вдоль продольной оси, кг; $R_{рас}$ — сопротивление древесины растяжению, для первосортных хвойных пород $R_{рас} = 100 \text{ кг/см}^2$; F — площадь сечения затяжки $b \times h$, см^2 ; W — момент сопротивления сечения изгибу $W = bh^2/6$, см^3 ; M — максимальный момент изгиба, возникающий в затяжке, $\text{кг} \times \text{м}$.

После расчета затяжки по несущей способности ее проверяют на жесткость. Ее определяют по общей формуле (2) прогиба однопролетной балки.

Пример расчета треугольной трехшарнирной арки (рис. 53).

Дано: расчетная нагрузка на арку составляет $q = 300 \text{ кг/м}$ (3 кг/см); пролет арки $L = 8 \text{ м}$ ($L_1 = 4 \text{ м}$). Высота в коньке $h = 5,5 \text{ м}$. Затяжки арки дополнительно используются как балки для мансардного перекрытия. Расчетная нагрузка на перекрытие мансарды 400 кг/м^2 , при шаге стропильных ферм, предположим, $1,2 \text{ м}$, нагрузка на затяжки составит $q_1 = 480 \text{ кг/м}$. Затяжку делаем из двух балок, опертых в середине арки на хомут и подвешенных к коньковому узлу.

Расчет будем производить с использованием в коньковом узле эксцентриситета $e = 4 \text{ см}$ (рис. 54). Если будет принято решение не использовать эксцентриситет, то схема расчета остается прежней, только из формулы, где подставляется значение e исключаются эта часть, то есть принимаем с равным нулю. Фактическое наличие эксцентриситета в коньковом узле и отсутствие его в расчете пойдет в запас прочности стропила.

Решение:

1. Находим длину стропильной ноги (a) по формуле Пифагора:

$$a = \sqrt{L_1^2 + h^2} = \sqrt{4^2 + 5,5^2} = 6,02 \text{ м}$$

Расчетный размер стропила позволяет использовать цельнодеревянный пиломатериал стандартной длины, например, брус длиной $6,5 \text{ м}$.

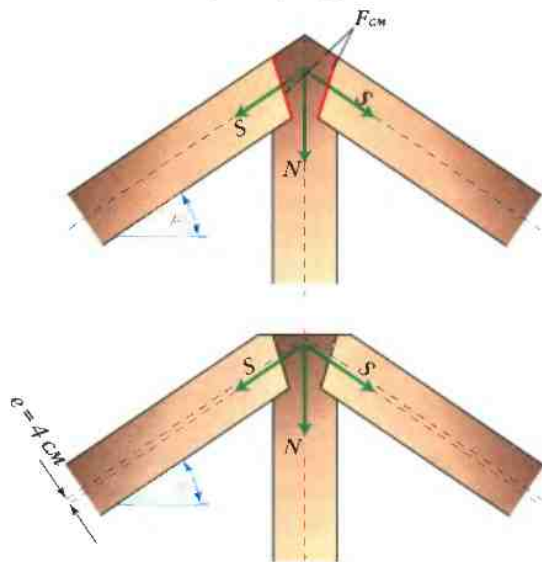


Рис. 54. К примеру расчета смятия древесины в коньковом узле

2. Рассчитываем растягивающее напряжение в подвеске:

$$N = q_1 L = 480 \times 8 = 3840 \text{ кг.}$$

3. Находим сжимающие усилия в стропильной ноге от действия подвески:

$$S = a(qL/2 + N)/2h = 6,02 \times (300 \times 8/2 + 3840)/2 \times 5,5 = 2759 \text{ кг}$$

4. Рассчитываем распор в затяжке:

$$H = qL^2/8h + NL/4h = 300 \times 8^2/8 \times 5,5 + 3840 \times 8/4 \times 5,5 = 436,4 + 1396,4 = 1833 \text{ кг}$$

5. Рассчитываем максимальный изгибающий момент, действующий в середине стропила:

$$M_{max} = qL^2/32 - Se = 300 \times 8^2/32 - 2365 \times 0,04 = 505,4 \text{ кг} \times \text{м} = 50540 \text{ кг} \times \text{см}$$

6. Стропило одновременно работающее на изгиб и сжатие рассчитывается как сжатоизогнутый элемент. Его нужно рассчитывать по формуле (5). Произвольно задаемся сечением стропила, например, это будет брус $150 \times 150 \text{ мм}$ ($15 \times 15 \text{ см}$).

Момент сопротивления изгибу сечения стропила:

$$W = bh^2/6 = 15 \times 15^2/6 = 562,5 \text{ см}^3$$

7. Рассчитываем внутреннее напряжение, возникающее в стропильной ноге от действия изгибающих и сжимающих сил σ . Подставляем все рассчитанные величины в формулу (5) и сравниваем с расчетным сопротивлением древесины сжатию $R_{сж} = 130 \text{ кг/см}^2$:

$$\sigma = S/F + M_{\max}/W = 2759/(15 \times 15) + 50540/562,5 = 12,3 + 90 = 102,3 \text{ кг/см}^2$$

Как видим, внутреннее напряжение $\sigma = 102,3 \text{ кг/см}^2$ меньше расчетного сопротивления древесины сжатию $R_{сж} = 130 \text{ кг/см}^2$, значит, брус $15 \times 15 \text{ см}$ удовлетворяет требованиям прочности.

8. Проверяем полученное сечение стропил на жесткость, в пролете $L_1 = 4 \text{ м} = 400 \text{ см}$.

Сначала находим момент инерции выбранного сечения стропильной ноги:

$$J = bh^3/12 = 15 \times 15^3/12 = 4219 \text{ см}^4$$

Затем находим нормативный прогиб:

$$f_{\text{нор}} = L/200 = 400/200 = 2 \text{ см}$$

Рассчитываем прогиб от действия нагрузки на данном пролете по формуле (12):

$$f = 5qL_1^4/384EJ - 2M_e L_1/16EJ = 5 \times 3 \times 400^4/384 \times 100000 \times 4219 - 2 \times 2759 \times 4 \times 400/16 \times 100000 \times 4219 = 2,37 - 0,001 = 2,37 \text{ см},$$

где $M_e = S \times e$

Расчетный прогиб стропила $2,37 \text{ см}$ получился больше нормативного 2 см , значит, выбранное сечение стропила $150 \times 150 \text{ мм}$ достаточное по прочности, не проходит по прогибу. Нужно увеличивать сечение стропила, например, до 175 мм . Пересчитываем прогиб на новый размер сечения стропила:

$$f = 5qL_1^4/384EJ - 2M_e L_1/16EJ = 5 \times 3 \times 400^4/384 \times 100000 \times 6699,2 - 2 \times 2759 \times 4 \times 400/16 \times 100000 \times 6699,2 = 1,5 \text{ см},$$

где $J = bh^3/12 = 15 \times 17,5^3/12 = 6699,2 \text{ см}^4$

Стропильная нога сечением $150 \times 175 \text{ мм}$ удовлетворяет требованиям прочности и жесткости.

9. Производим расчет сечения затяжки. Для начала выберем для изготовления затяжки брус того же размера, как и для стропил — $150 \times 175 \text{ мм}$.

Находим момент сопротивления изгибу выбранного сечения затяжки и изгибающий момент:

$$W = bh^2/6 = 15 \times 17,5^2/6 = 765,6 \text{ см}^3$$

$$M_{\text{зат}} = q_1 L_1^2/8 = 480 \times 4^2/8 = 960 \text{ кг} \times \text{м} = 96000 \text{ кг} \times \text{см}$$

10. Проверяем затяжку на прочность по формуле (12) и сравниваем с расчетным сопротивлением древесины растяжению $R_{\text{рас}} = 100 \text{ кг/см}^2$:

$$\sigma = N/F + M_{\text{зат}} R_{\text{рас}}/W R_{\text{изг}} = 1833/(15 \times 17,5) + 96000 \times 100/765,6 \times 150 = 90,6 \text{ кг/см}^2$$

11. Сечение затяжки проходит по прочности ($90,6$ меньше 100 кг/см^2), проверяем ее на изгиб. Нормативный прогиб должен быть не более:

$$f = L_1/200 = 400/200 = 2 \text{ см}$$

Расчетный прогиб составит:

$$f = 5q_1 L_1^4/384EJ = 5 \times 4,8 \times 400^4/384 \times 100000 \times 6699,2 = 2,4 \text{ см},$$

где $J = bh^3/12 = 15 \times 17,5^3/12 = 6699,2 \text{ см}^4$

Сечение затяжки не удовлетворяет требованиям прогиба. Увеличим его высоту до 200 мм и вновь проверим на прогиб:

$$f = 5q_1 L_1^4/384EJ = 5 \times 4,8 \times 400^4/384 \times 100000 \times 10000 = 1,6 \text{ см},$$

где $J = bh^3/12 = 15 \times 20^3/12 = 10000 \text{ см}^4$

Сечение затяжки размером $150 \times 200 \text{ мм}$ удовлетворяет требованиям прочности и жесткости.

12. Проверяем карнизный узел на скалывание (рис. 54) и смятие древесины затяжки. Сначала определим синус угла наклона. Синус угла наклона стропильной ноги можно найти как отношение высоты ее подъема к длине:

$$\sin \mu = h/a = 5,5/6,02 = 0,914$$

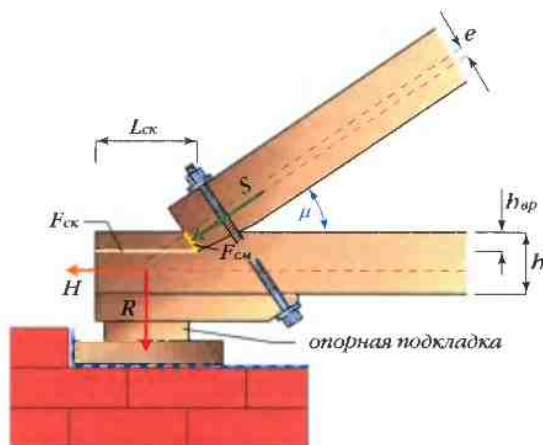


Рис. 55. К примеру расчета карнизного узла

Определяем расчетное сопротивление древесины затяжки смятию:

$$R_{см\alpha} = R_{см}/(1 + (R_{см}/R_{см90} - 1)\sin^2\alpha) = 150/(1 + (150/30 - 1)\times 0,914^3) = 37 \text{ кг/см}^2$$

Рассчитываем минимально возможные размеры площадки смятия:

$$F_{см} = S/R_{см\alpha} = 2759/37 = 75 \text{ см}^2$$

Зная ширину затяжки (15 см), находим высоту площадки смятия:

$$h_{см} = F_{см}/b_{см} = 75/15 = 5 \text{ см}$$

У нас принят эксцентриситет $e = 4$ см, следовательно врубку нужно сделать глубиной по гипотенузе 8 см, тогда ее глубина по катету должна быть:

$$h_{вр} = h_{см}\cos\mu = 8 \times 0,644 = 5,2 \text{ см, где } \cos\mu = L/2a$$

Врубка глубиной примерно 5,5 см отвечает требованиям СНиПа, она меньше $h/3 = 20/3 = 6,7$ см.

Рассчитываем врубку на скалывание древесины. Плоскость скалывания от действия распора находится вдоль волокон затяжки. Расчетное сопротивление первосортной древесины скалыванию вдоль волокон лобовых врубок допускается применять без расчета равной $R_{ск} = 12 \text{ кг/см}^2$. Значит площадь скалывания должна быть не менее:

$$F_{ск} = N/R_{ск} = 1833/12 = 153 \text{ см}^2$$

Зная ширину затяжки (15 см), находим длину площадки скалывания:

$$L_{ск} = F_{ск}/b_{ск} = 153/15 = 10,2 \text{ см}$$

По требованиям СНиПа длина площадки скалывания лобовых врубок должна быть не менее 1,5 высоты затяжки. Конструктивно принимаем $L_{ск} = 20 \times 1,5 = 30 \text{ см}$

13. Рассчитываем подвеску на растяжение. Расчетное сопротивление первосортной древесины растяжению равно $R_{рас} = 100 \text{ кг/см}^2$. На подвеску действует растягивающее усилие $N = 1920 \text{ кг}$.

Находим площадь сечения подвески:

$$F_{под} = N/R_{рас} = 3840/100 = 38,4 \text{ см}^2$$

Тогда толщина подвески при известной ширине 150 мм должна составить:

$$a_{под} = F_{под}/b_{под} = 38,4/15 = 2,6 \text{ см}$$

Для удобства соединений с подвеской стропильных ног и затяжки принимаем сечение подвески равным 150×150 мм. Тогда в коньковом узле опирание стропильных ног на подвеску можно сделать с глубиной врубок до 5 см. В этом случае площадь ослабленного сечения составит 5×150 мм, что равно 75 см², а это почти в два раза превышает минимально допустимую площадь 38,4 см².

Таким образом, расчет арки под заданные нагрузки показал возможность использования бруса 150×175 мм для изготовления стропил, 150×200 мм — для затяжки, 150×150 (или 150×125) мм — для подвески.

Схема 3. В мансардных крышах часто применяют висячие стропильные системы с приподнятой затяжкой (рис. 56). Эта система повторяет первую расчетную схему, только затяжка в ней устанавливается не по низу стропильных ног, а сдвигается вверх и чем выше будет расположена затяжка, тем большее растягивающее напряжение она воспринимает. В целом, такая трехшарнирная арка это безраспорная конструкция. Опирание стропил на мауэрлат производят по схеме шарнирно подвижных опор, то есть опора низа стропил делается по типу ползуна. При равномерно распределенной нагрузке на скатах крыши система вполне устойчива, но при уменьшении нагрузки на одном из скатов, может потерять устойчивость и поползти в сторону большей нагрузки. Поэтому, для придания арке устойчивости, ползуны лучше делать с выносом конца стропила за стену. Использование ползунов другого типа требует применения сложных мероприятий для придания системе устойчивости.

В мансардных крышах затяжка, чаще всего, служит еще и балкой для крепления потолка мансардного перекрытия. Это небольшие нагрузки, приподнятая затяжка в отличие от затяжки, установленной по низу стропильных ног, не несет на себе полезной бытовой нагрузки, а нагружена только весом потолка. Тем не менее и здесь затяжку можно защитить от провисания установкой подвески. В виду небольших нагрузок, подвеску выполняют из пары досок, прибитых к коньку арки и ригелю с двух сторон. Гвоздевое соединение подвески с коньком и затяжкой должно быть рассчитано на срез гвоздей.

Стропила считаются однопролетными балками (приподнятая затяжка не принимается за опору) и рассчитываются как сжатоизогнутые элементы. Для того чтобы не менять сечение стропил, расчет на прочность ведут по максимальному сжимающему усилию и максимальному изгибающему моменту. Расчет на жесткость (прогиб) делается для пролетов между концами стропила и затяжкой.

Ригель мансардного помещения рассчитывается как растянутоизгибаемый, чердачной крыши — растянутый элемент. Если к затяжке добавляется подвеска, то она не принимается за опору и затяжку по несущей способности рассчитывают как однопролетную балку полной длины, а при расчете на жесткость прогиб затяжки проверяется только на половине длины, от узла соединения со стропилом до подвески.

При большой протяженности приподнятой затяжки для предотвращения ее прогиба можно установить две или три подвески. При этом затяжка все равно рассчитывается как

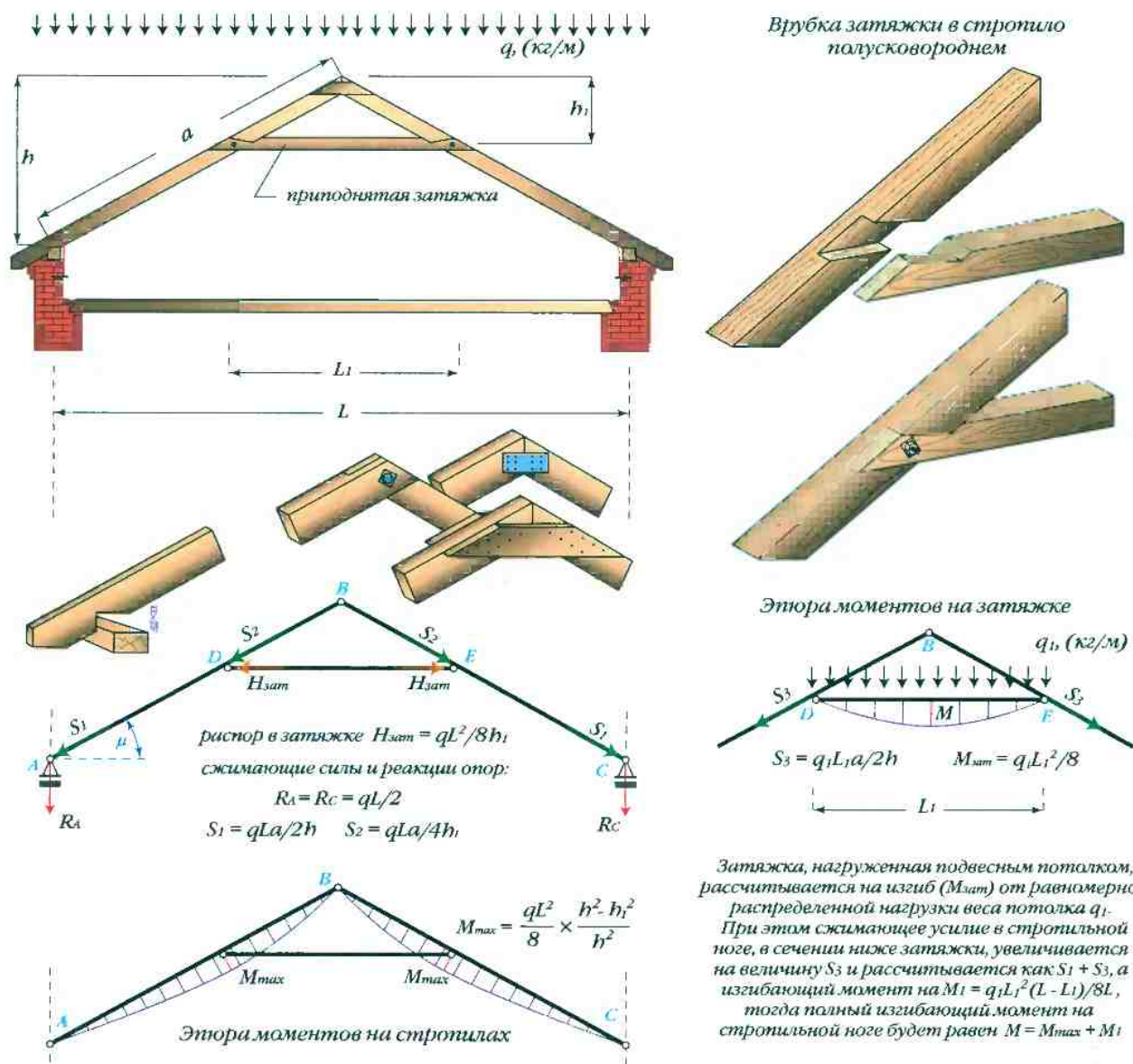


Рис. 56. Треугольная трехшарнирная арка с приподнятой затяжкой

однопролетная балка, а жесткость проверяется на расстояниях между подвесками. Если подвесной потолок имеет значительные площадь и вес, то для упрощения расчета, вне зависимости от числа подвесок, несущую способность затяжки нужно рассчитать как две однопролетные балки с общей опорой в центре арки и соответственно перераспределить растягивающее усилие подвески на сжимающие силы в стропильных ногах. Другими словами, независимо от количества подвесок, считаем, что она у нас одна и расположена в центре, проводим соответствующий расчет. Никаких хомутов при этом ставить не нужно (не те нагрузки), достаточно будет гвоздевых соединений, но вот они должны быть рассчитаны на срез от растягивающей силы и распределены по всем подвескам. Если же затяжка будет стыковаться по длине, то, конечно же, нужен хомут. Расчет на жесткость производим на расстояниях между подвесками.

Затяжка, нагруженная подвесным потолком, передает вес потолка на стропильные ноги, увеличивая их сжатие ниже себя. Полное сжимающее напряжение низа стропильной ноги получают сложением сжимающего напряжения от внешней нагрузки и нагрузки от затяжки. При этом от действия веса затяжки и нагрузки на нее на стропилах увеличивается изгибающий момент, который нужно приплюсовать к моменту от внешней нагрузки.

Крепление затяжки к стропильной ноге производится врубкой полускороворотом с конструктивным креплением болтом либо в полдерева или внахлест, как на рис. 29, с болтовым креплением. В первом случае болт устанавливают конструктивно диаметром 12–14 мм, во втором, болты нужно рассчитывать на срез от растягивающего усилия.

Поскольку вся конструкция трехшарнирной арки, выполненная по этой расчетной схеме при действии неравномерно распределенных нагрузок — неустойчивая, то низ стропильных ног закрепляют к стене, переходя, тем самым, к следующей расчетной схеме.

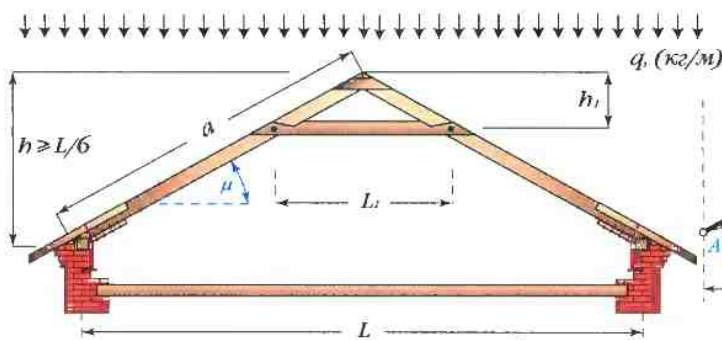
Схема 4. Замена нижнего опорного узла с ползуна на шарнирно неподвижную опору с врубкой в мауэрлат зубом или использованием опорного бруска делает всю арку устойчивой конструкцией (рис. 57). Однако арка становится распорной, передающей горизонтальные силы раздвигания стропильных ног на мауэрлат и стены. Мауэрлатная рама должна быть жестко прикреплена к стенам.

В этой расчетной схеме приподнятая затяжка меняет характер своей работы с растяжения на сжатие и называется ригелем. Сами стропила начинают работать как двухпролетные неразрезные балки на трех опорах. Конструкция арки с врубкой низа стропил зубом или с использованием опорного бруска может быть применена только при малых нагрузках, не дающих большой величины распора. Чаще используется треугольная трехшарнирная арка с затяжкой и врезанным ригелем. Эта конструкция не проявляет внешнего распора и не требует жесткого крепления опорных подкладочных досок.

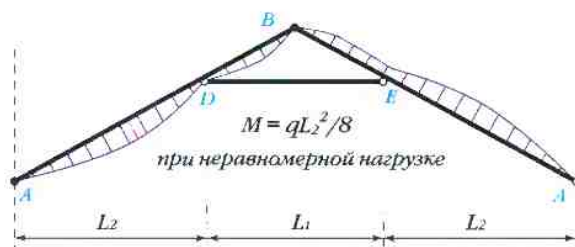
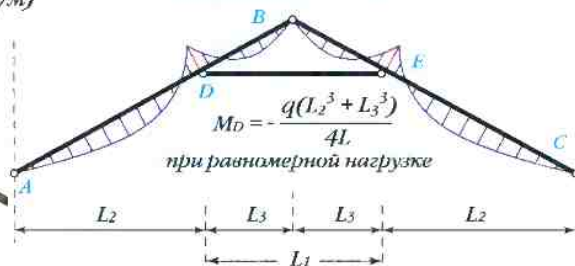
Расчет сечений элементов арки по несущей способности производится: стропил — на сжимающее и изгибающее напряжения (по схеме сжатоизогнутого элемента); ригеля в чердачных помещениях — на сжатие, в мансардных с подвесным потолком, совмещенным с ригелем — на сжатие и изгиб; затяжки — как растянутоизогнутого или растянутого элемента, в зависимости от наличия или отсутствия на ней изгибающей нагрузки.

Максимальный момент на стропилах в такой расчетной схеме берется как для расчета простых однопролетных балок. То есть фактически стропило является неразрезной двухпролетной балкой с третьей опорой на ригеле, а для расчета оно принимается как две балки с общей опорой на ригеле. Эта опора зыбкая (податливая), поэтому максимальный момент на ней стремится к нулю, так как при равномерно распределенной нагрузке ригель является опорой, а при снижении нагрузки на одном из скатов он становится податливой опорой и двигается в сторону ската с меньшей нагрузкой. А когда нагрузка на скатах бывает равномерно распределенной? Практически, никогда. Расчет на прогиб производится на пролете между ригелем и затяжкой (или мауэрлатом) по схеме однопролетной балки.

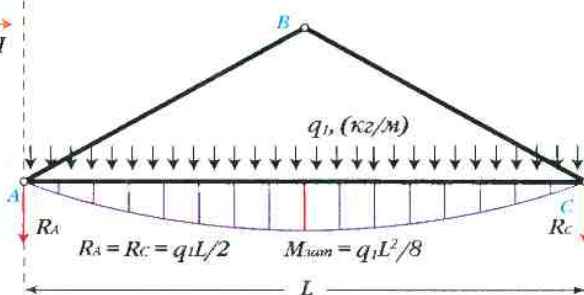
При нагружении ригеля подвесным потолком он передает сжимающие напряжения на стропильные ноги ниже себя. Общее сжимающее усилие внизу стропил получается путем сложения внешних сжимающих сил и сил от веса потолка, расположенного на ригеле.



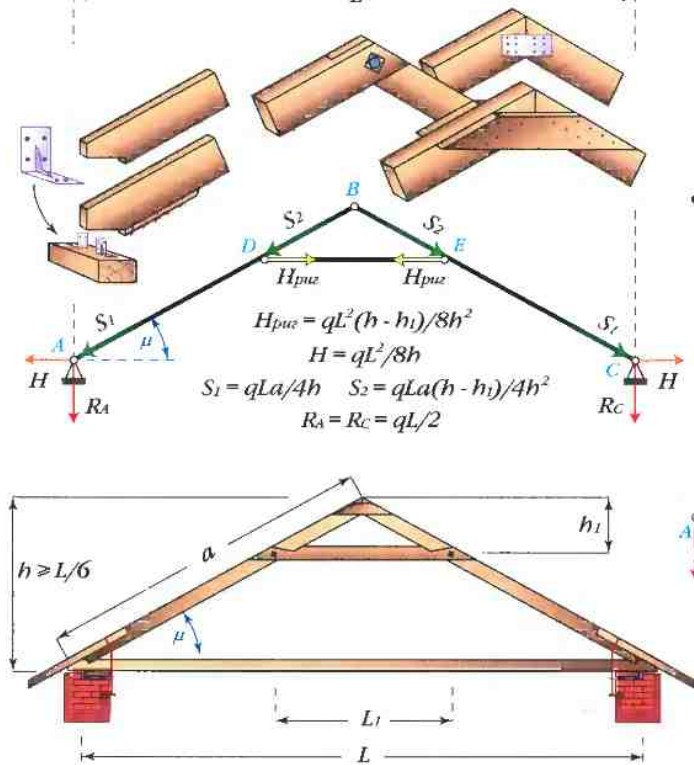
Эпюры моментов на стропилах, одинакова для обеих схем



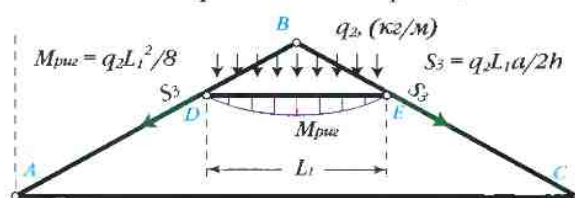
Эпюра моментов на затяжке



Затяжка, нагруженная подвесным потолком либо служащая в качестве балок перекрытия, рассчитывается на изгиб от равномерно распределенной нагрузки q_1 (веса потолка, перекрытия, полезной нагрузки и т. д.). Ригель - на нагрузку от подвесного потолка мансарды q_2 .



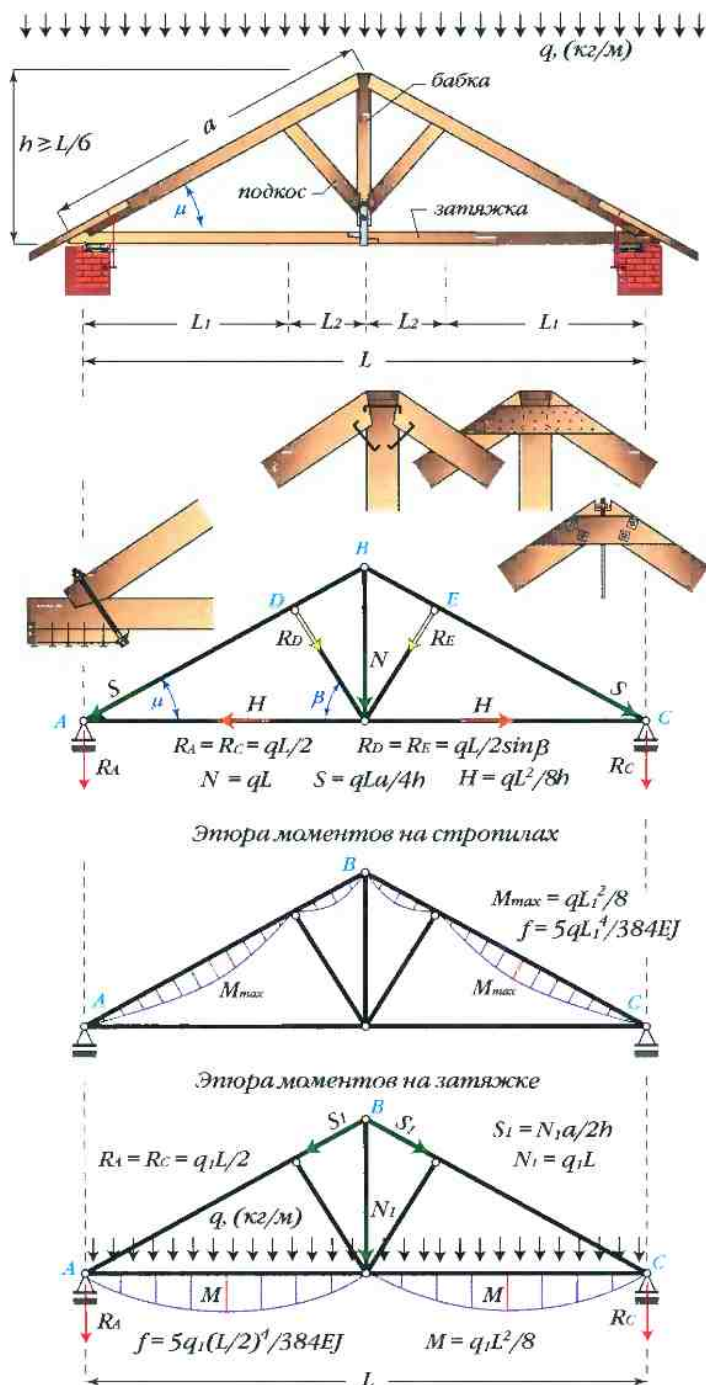
Эпюра моментов на ригеле



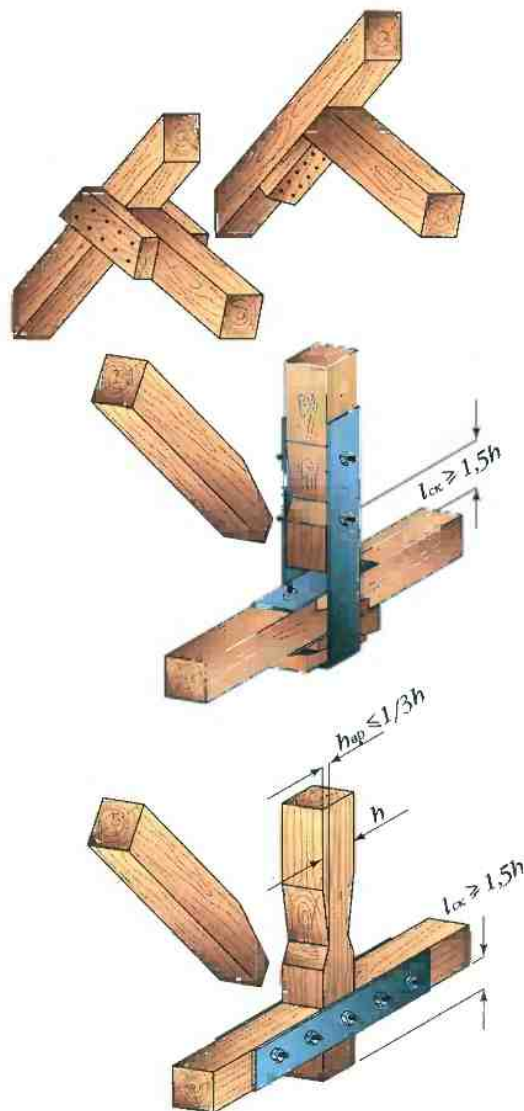
В сечении ниже ригеля сжимающее напряжение увеличивается на S_3 и рассчитывается как: $S_1 + S_3$, а распор в затяжке увеличивается на величину равную $H_1 = S_3 \cos \mu = q_2L_1/4h$ и рассчитывается как сумма $\Pi + \Pi_1$

Рис. 57. Треугольная трехшарнирная арка с ригелем

От увеличения сжимающего усилия растет распор в карнизном узле, который нужно приплюсовать к распору от внешних сил. В этой расчетной схеме в стропильных ногах не возникает изгибающий момент от действия на нее ригеля и нагрузки на нем, весь вес подвесного потолка, расположенного на ригеле, переходит в стропила и сжимает их, но не изгибает. Поэтому стропильную ногу нужно рассчитывать на действие максимального



Узлы крепления подкосов



При нагружении затяжки подвесным потолком напряжения от веса потолка S_1 и N_1 приплюсовывать к соответствующим напряжениям на стропилах

Рис. 58. Треугольная трехшарнирная арка с бабкой и подкосами

момента от внешних сил и на максимальные сжимающие силы, полученные сложением сжимающих сил от ригеля и внешней нагрузки, затяжку — на растягивающее напряжение распора от внешних сил и дополнительного распора от действия сжимающей силы, передаваемой ригелем.

Схема 5. Для уменьшения прогиба с увеличением длины стропил их подпирают подкосами. В отличие от наслонных стропил низ подкосов упереть не во что, так как в здании нет внутренней несущей стены, поэтому их упирают в бабку. Таким образом, прогибающиеся стропила давят на подкосы, те, врубленные в подвеску, растягивают ее, подвеска тянет вниз коньковый узел и верх стропил, стропила сжимают подкосы. От такого кругового движения внутренних напряжений получается довольно жесткая конструкция арки. Причем, по сути, трехшарнирная арка с бабкой и подкосами является обычной треугольной аркой, изображенной на первой схеме. Добавление в нее подвески и подстропильных ног не меняет сжимающих сил в стропильных ногах. Эти силы спускаются по стропилу от конька и раздваиваются на стропило и подкос. Те вектора сил, что пошли на подкос, спускаются по нему переходят в подвеску, растягивают ее и возвращаются обратно в стропильную ногу. Это замкнутый цикл, весь ромб, образованный верхом стропил, подкосами и бабкой, находится в напряженном состоянии, но в целом система стабильна и из нее не происходит «отсос» силовых векторов ниже по стропильной ноге, то есть система ведет себя так, как будто в ней нет этих элементов.

Так как длина стропильных ног в этой конструктивной схеме немаленькая, то и затяжка получается длинной, ее делают из двух элементов и стыкуют на середине косым или прямым прирубом, опирая на хомут, прикрепленный к бабке. От этого бабка подвергается еще большему растягивающему усилию и еще сильнее тянет вниз коньковый узел, а тот, в свою очередь, сжимает стропила и подкосы. Даже если затяжка будет сделана из одного цельнодеревянного элемента, она все равно должна быть присоединена к бабке хомутом или врубкой. Во-первых, это предотвратит провисание затяжки. Во-вторых, предотвратит выход низа бабки и подкосов из плоскости арки от случайных косопримложенных сил.

Расчет сечений арки производится по формулам на рис. 58. Стропила рассчитываются как сжато-изогнутые элементы, бабка — как растянутый, подкосы — как сжатые элементы. Затяжка — на растяжение с изгибом от собственного веса и веса чердачного перекрытия. Ориентировочно вес деревянных несущих конструкций треугольных арок можно рассчитывать от значений нормативной нагрузки и пролета по формуле: $q_{\text{соб.вес.}} = q/(200 - L)$.

Расчет стропил на прочность и жесткость производят как для двух однопролетных балок, так как подкосы — податливые опоры и опорный изгибающий момент на них стремится к нулю.

* * *

Все рассмотренные схемы висячих стропильных систем, по сути, это одна треугольная арка, в которую вводятся дополнительные элементы: подкосы, бабки и ригели. Эти элементы увеличивают жесткость стропильных ног, уменьшая их прогиб, но практически не участвуют в увеличении несущей способности. Если рассматривать конструкции висячих стропильных систем под действием равномерно распределенных нагрузок, то, казалось бы, меняются расчетные схемы, появляются неразрезные двухпролетные балки, способные нести большую нагрузку без прогиба. Но стоит только вспомнить, что снег на скатах лежит далеко не так, как нам хотелось бы, и расчетные схемы приходится менять: рассматривать стропила как простые однопролетные балки, опертые на подкосы или укрепленные ригелем, закрепленные на податливых опорах.

Висячие стропильные системы получаются всегда из более мощных брусьев, чем системы наслонных стропил. Предположим, что нужно перекрыть дом, в котором нет внутренней стены. Берем балку и кладем ее на противоположные стены. Расстояние между стенами большое, чтобы балка не прогибалась и несла на себе большую нагрузку, она должна быть мощной. Режем балку посередине и тянем вверх, чтобы стропила не разъехались свя-

зываем их по низу затяжкой. Получаем систему висячих стропил. А если бы была возможность подпереть конек стойкой? Тогда вместо балок уже можно использовать более тонкий пиломатериал, поскольку перекрываемый пролет уменьшается вдвое и исчезает необходимость в затяжке. По этой причине, в большинстве случаев, для изготовления висячих стропил используются брусья, а для наслонных — доски. И в том, и в другом случае для уменьшения прогиба стропил используются подкосы, а для увеличения устойчивости — ригели (схватки). Но в наслонных системах стропил подкосы можно упереть в прочное основание и они являются дополнительными опорами, превращающими стропила в неразрезные двухпролетные балки, а в системах висячих стропил их упереть не во что и они «завязываются» на стропила, то есть дополнительной опоры как не было, так и нет.

КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА КОМБИНИРОВАННОЙ СТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

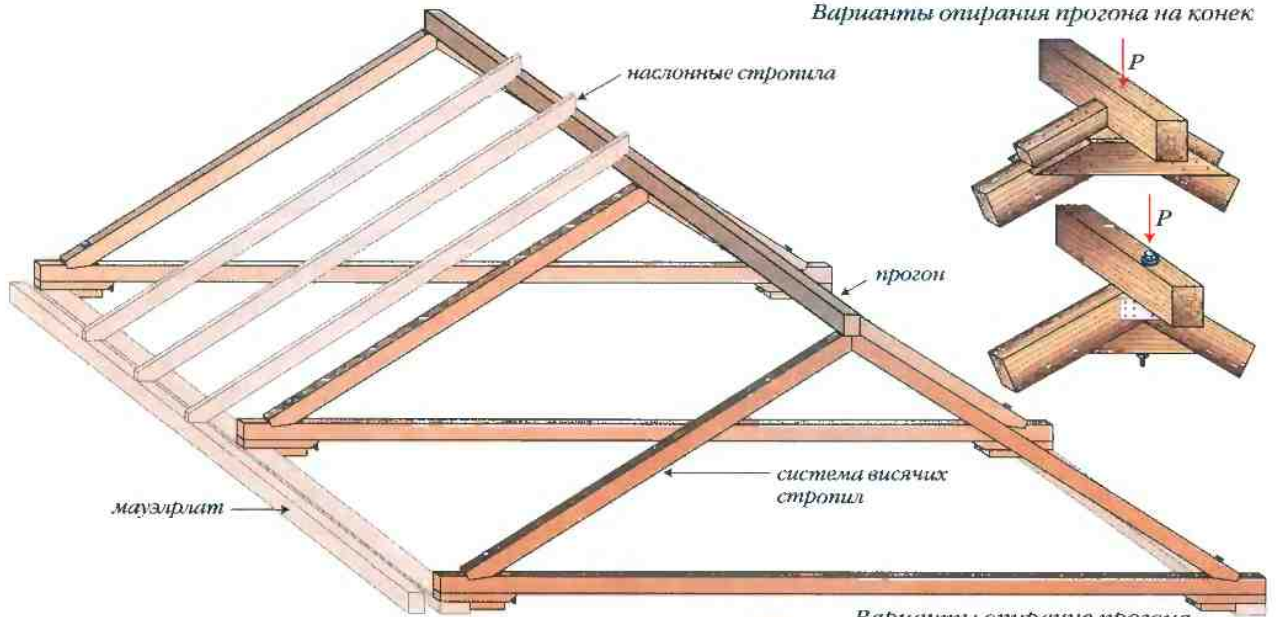
Систему висячих стропильных систем можно сделать как подстропильную конструкцию под наслонные стропильные ноги. В этом случае на треугольные трехшарнирные арки, расставленные с большим шагом (2–4 м), укладываются прогоны, а уже на них устанавливаются наслонные стропила (рис. 59). Прогоны, лучше всего, монтировать на узлы трехшарнирных арок, удаляя, тем самым, с верхнего пояса равномерно распределенные нагрузки и оставляя только сосредоточенные силы. Таким образом, из висячих стропильных ног исчезают изгибающие напряжения и остаются только сжимающие и растягивающие усилия, что существенно снижает сечения элементов арки.

Простой пример. Балка на двух шарнирных опорах, предположим, доска, переброшенная через ручей. Когда вы наступаете на край доски (на шарнирную опору), она и не думается прогибаться, а когда вы продвигаетесь по ней к середине (смещение сосредоточенной силы от веса человека с шарнирной опоры на центр пролета), доска прогибается. Другими словами, сила, приложенная в шарнирном соединении конструкции, не вызывает в ней изгибающих напряжений и полностью компенсируется реакцией опоры, а сила, приложенная в каком-либо месте пролета, вызывает изгибающие напряжения. По такому же принципу устроены детские качели, возможно, стоящие у вас во дворе. Сосредоточенная сила от веса ребенка приложена в коньковом шарнире и как бы ребенок не раскачивался, она распределяется между стойками А-образной опоры, сжимая и растягивая их, но не вызывая изгиба. Если бы все было по-другому, то стойки вмиг бы согнулись от динамических напряжений. Вы же знаете, что на качели могут взобраться и «дети» весом килограммов под 90, а стойки, как ни странно, все равно не гнутся. Стойки качелей сжимаются и растягиваются, а перекладина буквы А воспринимает распор, и нет никаких изгибов.

Если же прогоны опереть не в узлах арок, а между ними, то стропила, как и в прежних вариантах, рассчитываются на прогиб, только в этот раз не от равномерно распределенной нагрузки, а от сосредоточенных сил. Теряется смысл использования треугольной арки в качестве подстропильной конструкции под наслонные стропила, ее лучше заменить фермой. Ферма получается при добавлении в конструкцию бабок и подкосов, под каждую опору прогона — по бабке и подкосу. Тогда все сосредоточенные силы приложены в шарнирах и не дают изгибающего момента. Однако конструкция узлов в ферме и ее расчет делаются по-другому. Описание ферм это уже другая тема и не входит в изложение о стропильных крышах. Хотя, безусловно, что фермы, в которых все стержни работают на сжатие и растяжение и отсутствуют изгибающие моменты, это более прогрессивная конструкция, позволяющая использовать тонкие бруски.

В комбинированных стропильных системах наслонные стропила (либо сразу обрешетка) принимают изгибающие напряжения от внешней нагрузки (снега, ветра, кровли и т. д.) и передают их на прогоны. Они, в этом случае, рассматриваются как опоры под наслонные стропила. Прогоны рассчитываются как разрезные однопролетные или многопролетные неразрезные балки, в зависимости от схемы их укладки. При укладке прогонов на систему висячих стропил нужно устраивать горизонтальные площадки для их опира-

Варианты опирания прогона на конек



Варианты опирания прогона на стропило

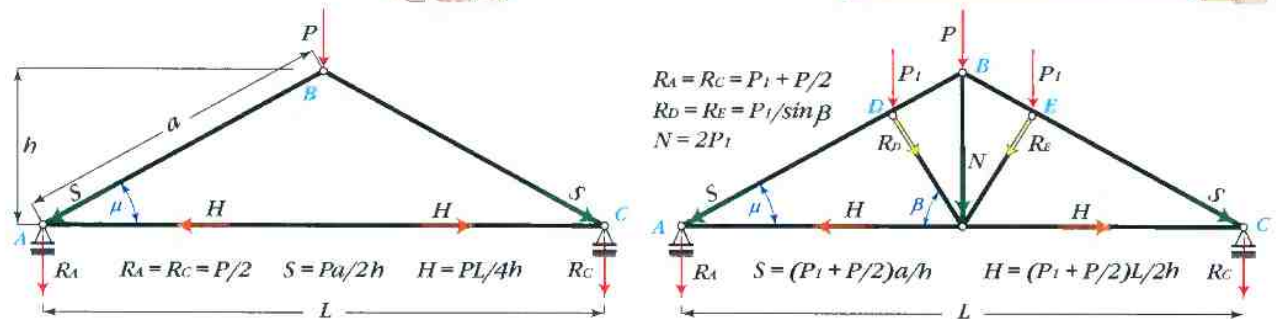
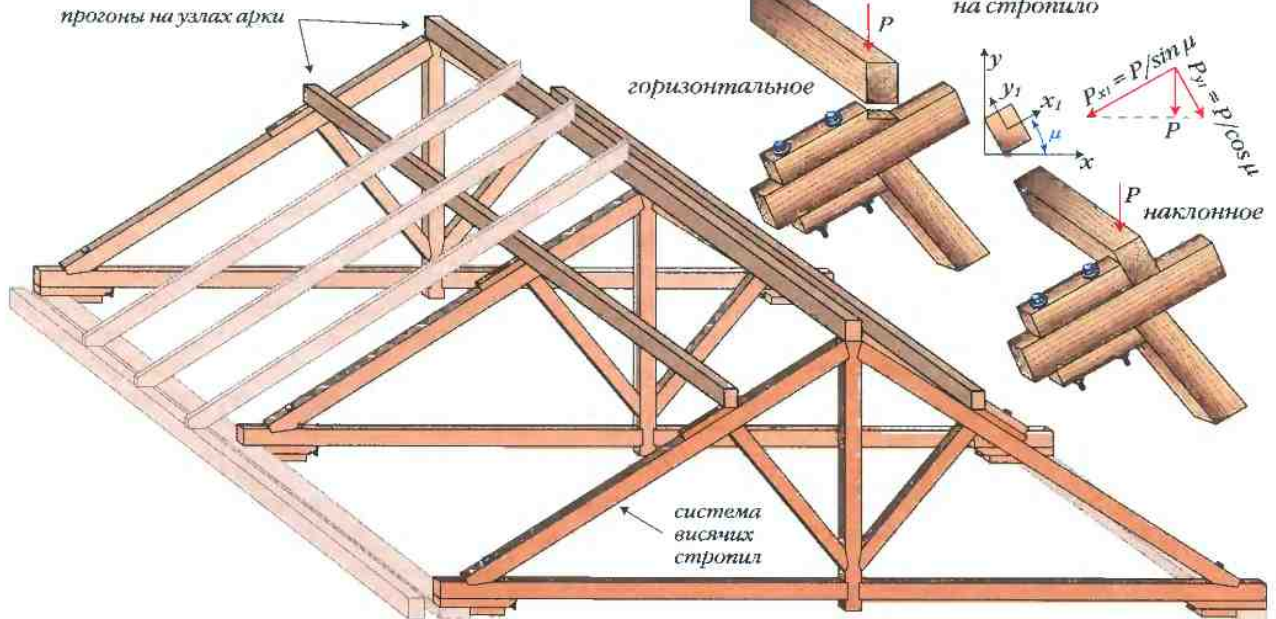


Рис. 59. Комбинированная стропильная система: P и P_1 — сосредоточенные силы от веса прогонов и крыши на них вместе со снеговой, ветровой и пр. нагрузками (равны реакции опор прогонов)

ния, тогда в них не появится крутящего момента — балки будут работать в вертикальной плоскости по привычной схеме. Если же прогоны установить с опиранием по пласти верха висячих стропил, то их нужно рассчитывать на изгиб по осям x_1 и y_1 , потому что прогон может сломаться по любой из этих осей. В этом расчете нет ничего сложного, просто равномерно распределенную нагрузку или сосредоточенные силы, если расчет будет производиться по ним, нужно спроецировать на оси x_1 и y_1 и произвести расчет на несущую способность и прогиб отдельно для каждой плоскости. Описание расчета прогонов было приведено на стр 54. Прогоны рассчитываются на внешнюю равномерно распределенную нагрузку или на сосредоточенные силы от реакции опор наслонных стропил. А комбинированная стропильная система рассчитывается на сосредоточенные силы — реакцию опор от прогонов.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ МАНСАРДНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Частично мы уже коснулись конструкций мансардных крыш, их можно строить на чердаках с наслонными и висячими стропилами, лишь бы не мешали подстропильные ноги (подкосы). Можно строить бесстропильные крыши, заменяя стропильные ноги на прогоны, сразу по которым делается обрешетка и кровля. Но есть еще и особенный вид крыш, которые многие называют ломаными или, собственно мансардными крышами.

Не касаясь способов опирания стропильных систем на стены, еще раз напомним главные различия между схемами наслонных и висячих стропил. Наслонные стропила — это прямоугольные треугольники, в которых главное напряжение от веса снега, кровли и т. д. воспринимает катет — стойки подстропильной конструкции, установленные вертикально. Например, если взять циркуль с удаленными иглой и грифелем карандаша и установив его на стол, раскрыв одну ножку, то сколько не дави сверху на циркуль, он так и останется в том же положении — в конструкции отсутствуют распирающие напряжения, основные усилия воспринимает вертикальная ножка. Если на циркуль давить не сверху, а на отведенную в сторону ножку, то вся конструкция легко теряет устойчивость и сдвигается. Раскрыв у циркуля вторую ножку, треугольник, перестав быть прямоугольным, становится более устойчивым при давлении на ножки, а при надавливании сверху, на коньковый узел, ножки циркуля раздвигаются — в конструкции появляются распирающие напряжения. Вот так, всего лишь потерей вертикальности стоек (катета в прямоугольном треугольнике) мы можем превратить стропильную систему из безраспорной в распорную.

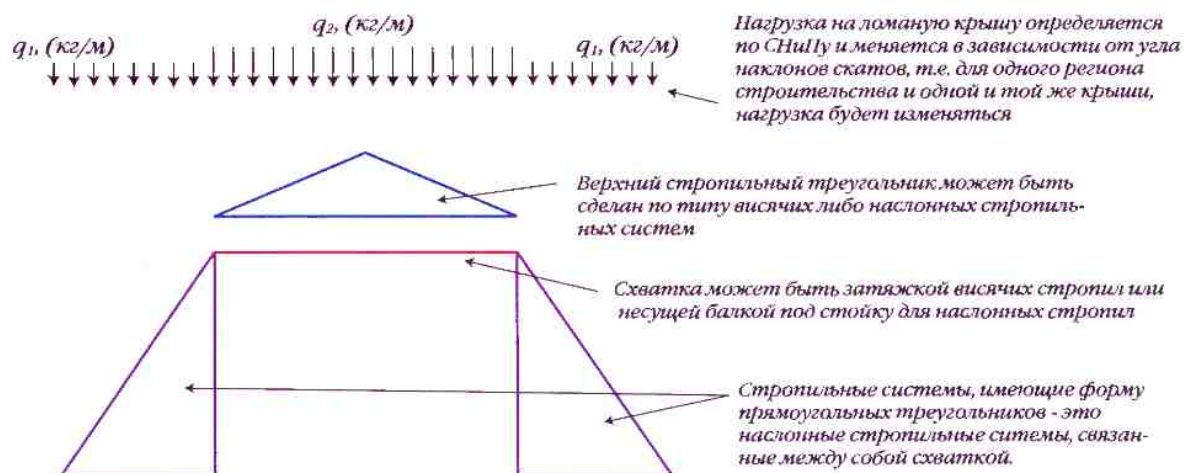


Рис. 60. Принципиальная схема несущей конструкции мансардной (ломаной) крыши

В ломаных (будем называть их так) крышах используются оба типа треугольников, которые работают по схемам висячих и наслонных стропил (рис. 60). В зависимости от уклона нижнего и верхнего ската размеры верхнего треугольника могут быть очень большими или, наоборот, очень маленькими. От этих размеров зависит последовательность расчета сечений элементов крыши. Если верхний треугольник больших размеров, то расчет сечений стропил делают для него, а стропила нижних треугольников принимаются конструктивно, равными верхним стропилам. Это делается для облегчения стыкования узлов элементов. Если верхний треугольник небольшой, а это получается при относительно небольших углах наклона нижних скатов, то сечения стропил рассчитываются по нижним треугольникам, а сверху они принимаются конструктивно.

Хотя мы и назвали крыши ломаными, никто не запрещает делать верхний треугольник с тем же уклоном скатов, что и нижние — сейчас это модно, делать мансардные крыши внешне ничем не отличающиеся от обычных двускатных крыш.

Схема 1. Вдоль стен располагают прямоугольные треугольники, а чтобы они не теряли устойчивости от неравномерных нагрузок, связывают их схватками. Стойки служат каркасом для стен помещения мансарды. Прямоугольные треугольники делаются по схеме наслонных стропил. Сверху они венчаются одним треугольником с раскрытыми ножками стропил, то есть сверху получается висячая стропильная система, в которой затяжка одновременно является балкой потолка мансарды (рис. 61).

Расчет несущего каркаса верхних скатов делается, в этом случае, по схеме висячих стропильных систем. Очевидно, что затяжка в такой конструктивной схеме получается относительно небольших размеров сечений, поскольку работает, в основном, на растяжение, и небольшой прогиб от веса потолка мансардного помещения. Однако стропила могут быть больших сечений, потому что они перекрывают весь пролет и образуют полноценную крышу. Затяжку во избежание прогиба от веса потолка подвешивают на бабку. В целом вся конструкция верхнего треугольника выполняется по любой из схем висячих стропил: с ригелем; с бабкой (одной или несколькими); с бабкой и подкосами. Соответственно и расчет всех элементов конструкции делается по выбранной схеме.

Нижние прямоугольные треугольники — это наслонные стропила, которые представляют из себя половинку стропильных систем, приведенных в главе про этот вид стропил. Они проектируются по соответствующим расчетным схемам: с подкосами или без них. Узлы опираний стропил на мауэрлат могут быть сделаны как по шарнирно неподвижной схеме, так и на ползунах. Соответственно этим схемам опираний следует выполнять закрепление мауэрлатных балок.

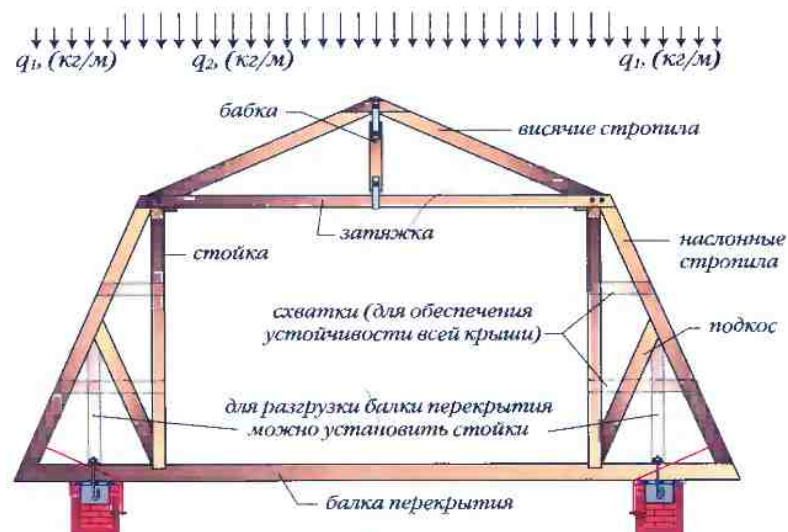
Стойки нижних несущих треугольников опираются на перекрытие. Если оно сделано из железобетонных плит перекрытия, то расчет перекрытия не нужен. Стойки опирают в лежень, а его, через рулонную гидроизоляцию, укладывают прямо на перекрытие или на выравнивающие деревянные подкладки либо кирпичные столбики. Если перекрытие деревянное, стойки врезают в балки перекрытия, которые, помимо расчета на полезную равномерно распределенную нагрузку (обычно 400 кг/м^2), рассчитывают еще на сосредоточенные силы от веса крыши и нагрузки на ней.

Схема 2. Для увеличения карнизного свеса низ стропил нижних треугольников выносят за пределы стены. В этом случае стропильную ногу опирают не в мауэрлат, а в балку. Стропило делается с обязательным введением под него подстропильной ноги (подкоса). Мауэрлат в такой конструктивной схеме устанавливать не нужно, достаточно укладки выравнивающих деревянных подкладок. Стойки врубают в балку перекрытия на глубину не более $1/3$ высоты балки перекрытия (рис. 62).

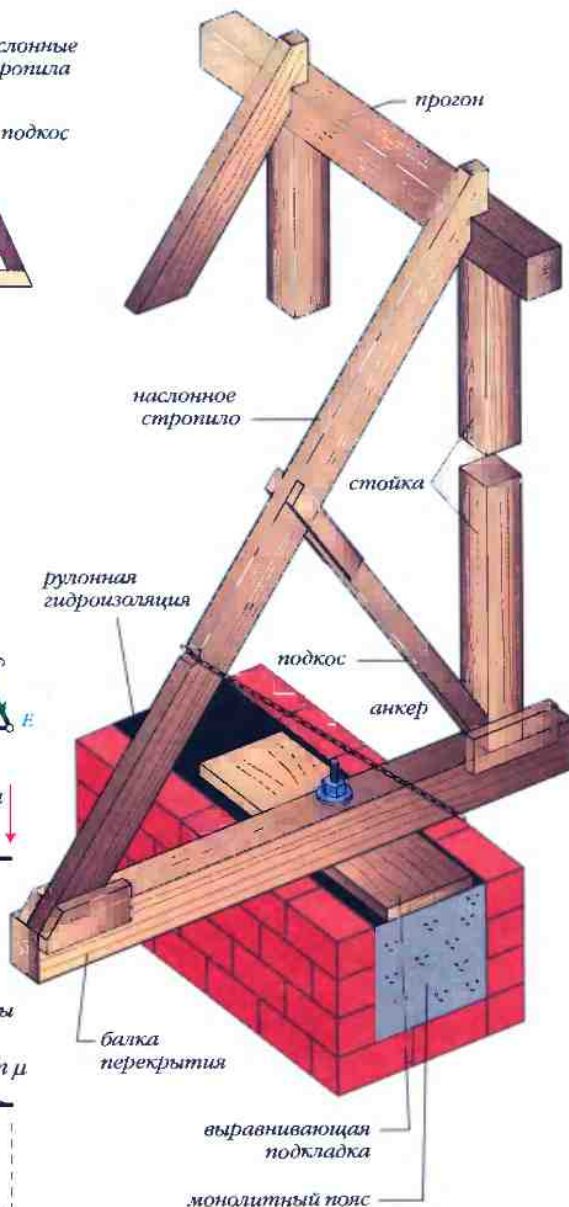
Расчет нижних треугольников ведется на сжатие с изгибом, а чаще, только на сжатие, поскольку крыши таких конструктивных схем делаются, как правило, для очень крутых нижних скатов, на которых снег не задерживается и главными становятся ветровые нагрузки и вес верхнего треугольника. А ветер, даже ураганной силы, вряд ли сломает стропила, скорее сорвет кровлю или сбросит всю крышу. Здесь на первое место выходят про-

тивоветровые мероприятия: установка проволочных скруток и/или крепление крыши к монолитному поясу стены резьбовыми анкерами.

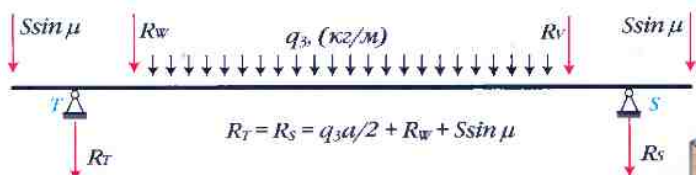
Если в конструкцию нижних треугольников (наслонных стропил) ввести еще одну стойку и установить ее так, чтобы она была точно под местом пересечения подкоса и стро-



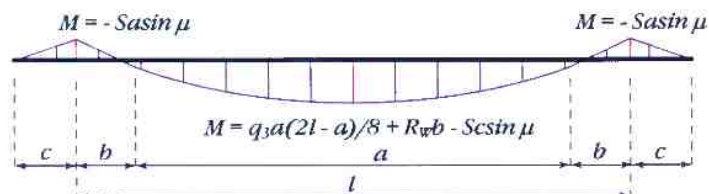
Варианты узловых соединений



конструкция крыши рассчитывается как отдельные системы висячих и наслонных стропил



балка перекрытия рассчитывается на бытовую нагрузку q_3 (400 кг/м²) и сосредоточенные силы от стоек и стропил мансарды



$$f = q_3 a b l^2 (1 + a/l - a^2/l^2) / 24 E J + R_W b (3 l^2 - 4 b^2) / 24 E J - S c l^2 \sin \mu / 8 E J$$

Рис. 62. Расчетная схема мансардной крыши с наслонными и висячими стропилами (вариант 2)

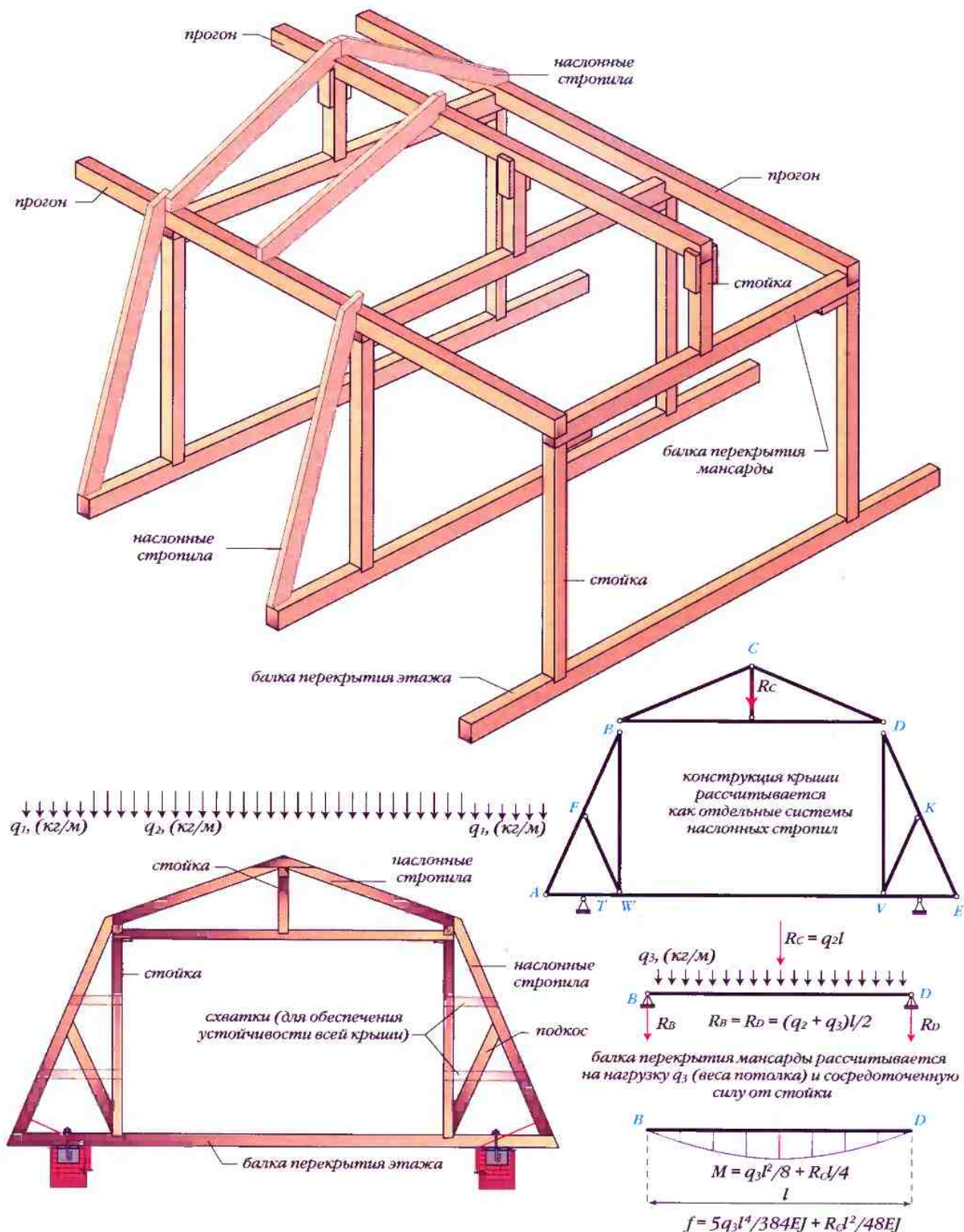


Рис. 63. Расчетная схема мансардной крыши с наклонными стропилами по каркасу из брусьев

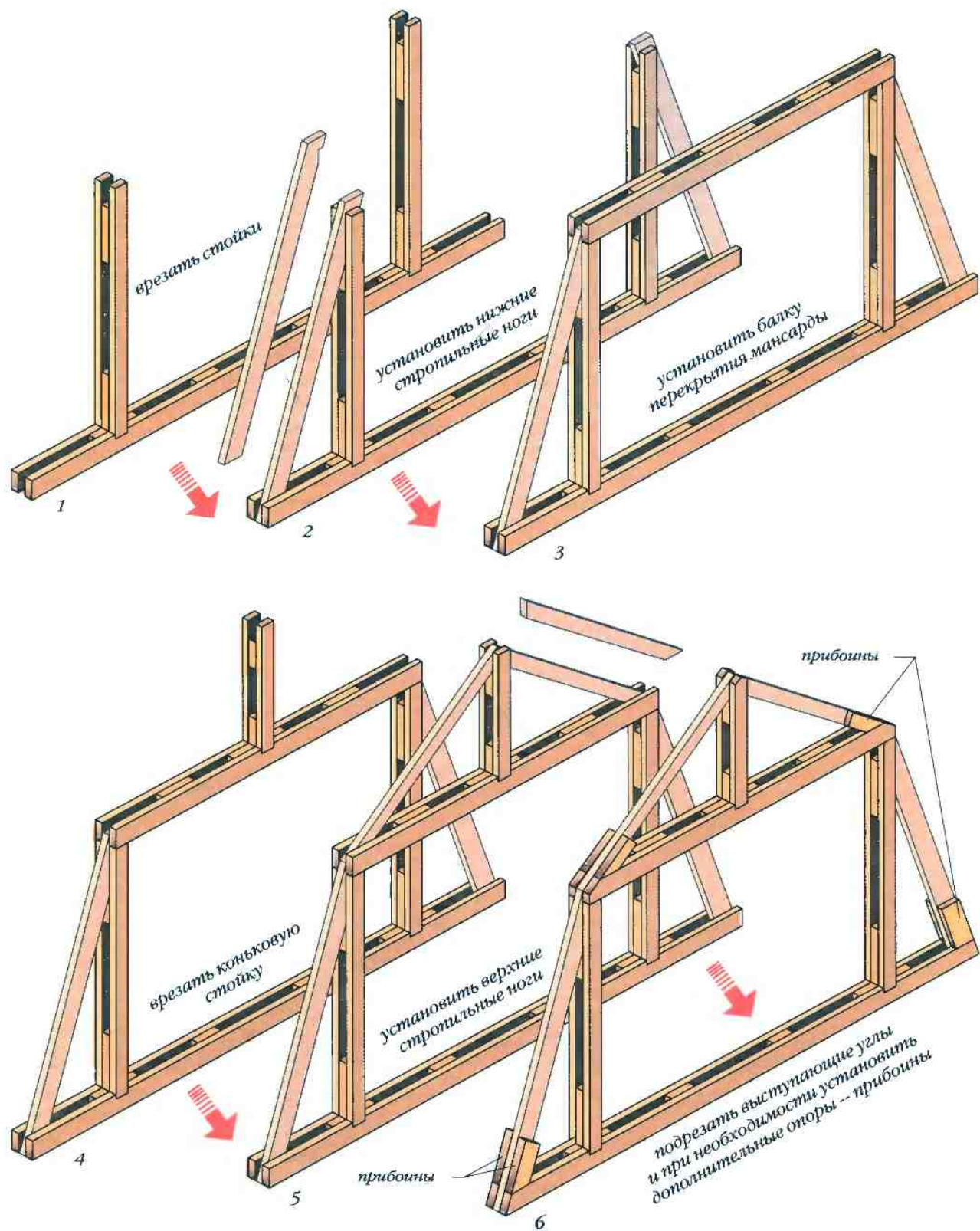


Рис. 64. Вариант изготовления дощато-гвоздевой рамы

пильной ноги и упиралась нижним концом в балку перекрытия прямо над стеной, то можно разгрузить балку, уводя с нее сосредоточенные силы от веса крыши. В этом случае сосредоточенная сила будет уходить по стойке прямо на стену, а подкос и низ стропила будут разгружены. Установка подкоса как несущего элемента теряет свой смысл, но он может быть установлен для придания крыше статической устойчивости.

Как и в предыдущем варианте, крыша устойчива под воздействием равномерно распределенной нагрузки и может потерять устойчивость при снижении нагрузки на одном из скатов. Для придания ей устойчивости на низ затяжки трехшарнирной арки нужно установить опорные бруски, а стойки связать с наслонными стропилами 2–3 схватками.

Схема 3. Нижние треугольники делаются по схемам 1 или 2, а верхний заменяется на систему наслонных стропил. В этом случае схватка, связывающая нижние треугольники, становится опорной балкой под стойку верхнего треугольника. Очевидно, что эта балка во избежание прогиба должна быть мощной, а стропила, наоборот, могут быть сделаны из досок. Получается схема, обратная висячим стропилам (рис. 63). В верхнем треугольнике, сделанном по схеме висячих стропил, схватка, защищенная от прогиба одной или несколькими бабками, может быть сделана из досок, а стропила — из брусьев. А в схеме наслонных стропил стропильные ноги, перекрывающие только половину пролета, могут быть из досок, а схватка (балка, связывающая верх нижних треугольников) — из бруса.

Расчет всех сечений элементов крыши ведется по по схемам наслонных стропил. Расчет балки-схватки делается на изгиб от равномерно распределенной нагрузки веса потолка мансарды и сосредоточенную силу от стойки верхнего треугольника.

Верх стропил опирается на прогон, уложенный на стойки, или прямо на стойки. Укладка прогона предпочтительней, так как дает пространственную жесткость всей крыше.

По сути, эта конструктивная схема — каркас, накрытый стропилами. Мансардный этаж собирается из брусьев или досок и на него укладываются наслонные стропила. Этот метод удобен в крышах сложных пространственных форм: собирается каркас мансардных ком-нат, а на них укладываются обычные и/или диагональные стропила.

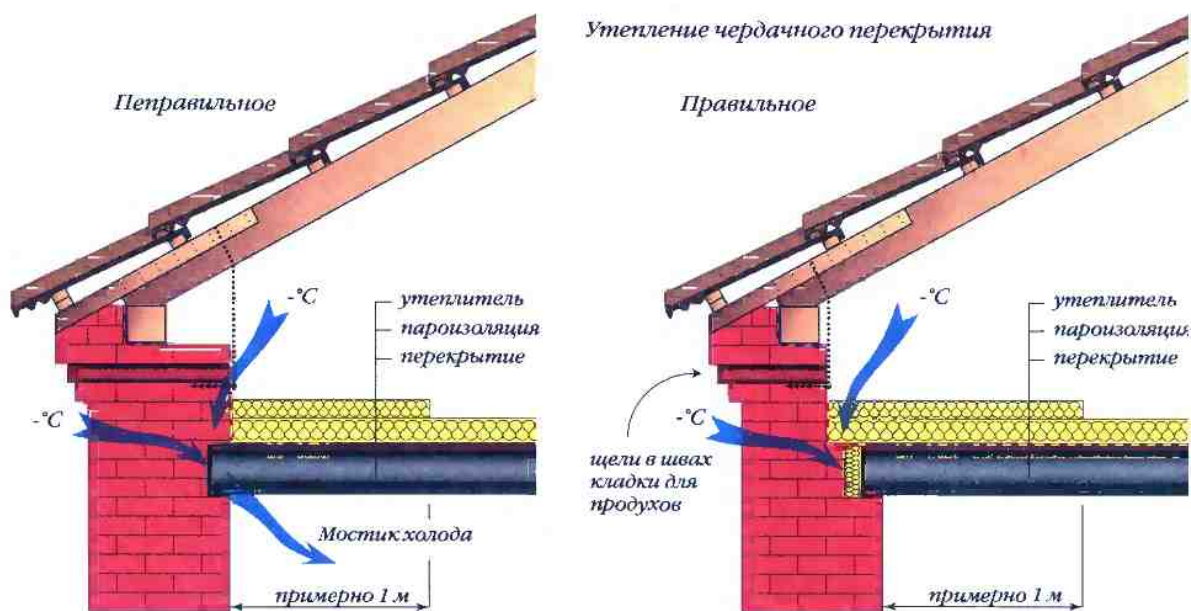


Рис. 65. Включение более плотного материала в менее плотный, в данном случае, железобетонной плиты перекрытия в кирпичную кладку, образует «мостик холода». По возможности его нужно ликвидировать

Под наклонные стропила удобнее собирать каркас в виде П-образных рам, а затем укладывать прогоны, так легче делать опорные узлы стропильных ног, а в схемах 2 и 3, наоборот, сначала на стойки нужно уложить прогоны, а затем ставить треугольные арки висячих стропил.

Схема 4. В зданиях с небольшими нагрузками, например, в дачных домиках можно изготовить дощато-гвоздевые рамы (рис. 64). Применяется наклонная стропильная система, расчет ведется обычным методом для однопролетных балок. Узлы соединения стропил с балками перекрытия этажа и мансарды рассчитываются на срез гвоздей от сжимающих сил, возникающих в стропильных гвоздях. Если расчет показывает большое количество гвоздей, устанавливают дополнительные усиливающие прибоины либо гвозди заменяются на болты. Напомним, что применение болтов или глухарей за счет появления отверстий уменьшает расчетную несущую способность древесины, ее нужно уменьшать введением коэффициента 0,8.

Пространственная жесткость рам обеспечивается так же, как и для треугольных трехшарнирных арок (висячих стропильных систем) установкой парных ветровых связей — схваток и устройством обрешетки.

УТЕПЛЕНИЕ СКАТНЫХ КРЫШ

В современных крышах сечение стропил часто подбирается не по прочностным характеристикам, а по конструктивным соображениям. В первую очередь это касается мансардных крыш с утепленными скатами. Например, высота стропил мансардного помещения по расчету на прогиб и прочность может получиться меньше слоя утепления. В этом случае высоту сечения стропил удобнее подобрать по высоте утеплителя, а стропила только просчитать на несущую способность и прогиб проверочным расчетом.

Теплоизоляция «холодных крыш» (чердачное помещение нежилое) осуществляется посредством утепления чердачных перекрытий. Для обеспечения надежной защиты чердачного перекрытия от проникновения водяных паров из жилого помещения под утеплитель следует уложить слой пароизоляции из полиэтиленовой пленки. Пароизоляция должна защищать утеплитель и от намокания от стен, то есть она должна образовывать корыто под укладку утеплителя.

Для обеспечения хорошей теплозащиты всего дома теплоизоляционный материал должен укладываться непрерывно, с тем чтобы не было разрывов в теплоизоляции и не образовывались «мостики холода». При утеплении чердачных перекрытий теплоизоляционный материал должен укладываться на наружную стену, накрывая (перекрывая) собой вертикально расположенный утепляющий слой стены (рис. 65). Толщину утеплителя, расположенного по периметру стен полосой около 1 м, желательно увеличить до 50% от проектной толщины.

При устройстве мансард (жилое чердачное помещение) все обращенные к улице горизонтальные, вертикальные и наклонные поверхности помещения утепляют (рис. 66).

Плиты утеплителя должны укладываться на основание плотно друг к другу и иметь одинаковую толщину в каждом слое. При устройстве теплоизоляции в несколько слоев швы плит необходимо устраивать вразбежку (верхний слой должен перекрывать стыки нижнего слоя).

Делают два варианта утепления мансардных крыш, по этому же принципу делают и утепление деревянного перекрытия в чердачных крышах с единственной разницей в том, что в мансардных крышах утеплитель кладется между стропилами, а в перекрытии между балками (рис. 67).

Первый вариант, межкаркасное утепление. Утеплитель, минераловатную плиту или пенополистирольные либо полиуретановые плиты вставляют между стропилами (или балками перекрытия). Высота сечения стропил (или балок перекрытия) делается больше толщины плит утеплителя на 2–5 см. Толщина утеплителя подбирается по расчету в зависи-

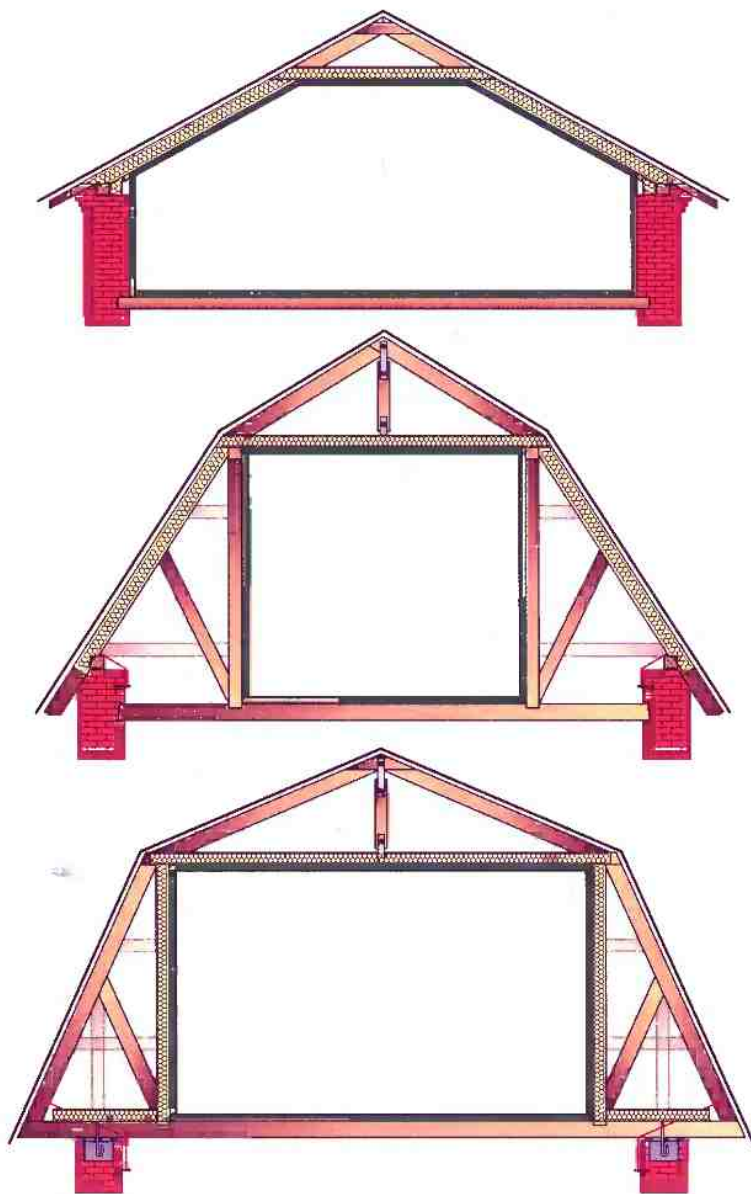


Рис. 66. Варианты размещения утеплителя в мансардных крышах

мости от региона строительства и материалов конструкции внутренней обшивки. Утеплитель в межстропильном пространстве укладывается на обшивку мансарды и разделяется с ней пароизоляцией. В чердачном перекрытии утеплитель укладывается на обшивку потолка и тоже разделяется с ним пароизоляцией.

При устройстве теплоизоляции по чердачному перекрытию обычно утеплитель после укладки оставляют открытым. Это не совсем правильно, над утеплителем нужно сделать ходовые трапы: две-три доски, уложенные на балки перекрытия или на лаги. Тогда в чердачном помещении можно передвигаться для осмотра конструкций крыши или по другим нуждам. В противном случае придется ходить прямо по утеплителю и он утратит свои теплозащитные свойства.

Вариант второй, утепление по перекрестному каркасу. Самое дорогое и правильное утепление. Сначала делаем первый вариант утепления, вставляем утеплитель в межстропильное (или межбалочное) пространство, заполняя его до самого верха, затем на этот своеобразный каркас устанавливаем второй каркас, но уже поперек первому и вставляем в него второй слой утеплителя. При перекрестном утеплении второй слой утеплителя перекрывает стыко-

вочные швы утеплителя первого слоя, а вместе с ними и стропила (или балки перекрытия), таким образом из системы удаляются все «мостики холода».

Контробрешетку, добирающую проектную высоту утеплителя, можно устанавливать как сверху, так и снизу стропильных ног. Более эффективное утепление достигается при установке ее сверху, кроме того, это значительно облегчает работу. Утеплитель укладывается сверху на подшивку мансарды: работа продвигается быстро и почти беспыльно. Однако для выполнения такой работы нужно ждать погоду, если укладывать утеплитель между дождями, то его нужно накрывать, а намокший утеплитель долго сушить. При укладке утеплителя снизу при смонтированной кровле, погоду ждать не нужно, но установка утеплителя затрудняется, для закрепления утеплителя нужно подшивать мансарду снизу по ме-

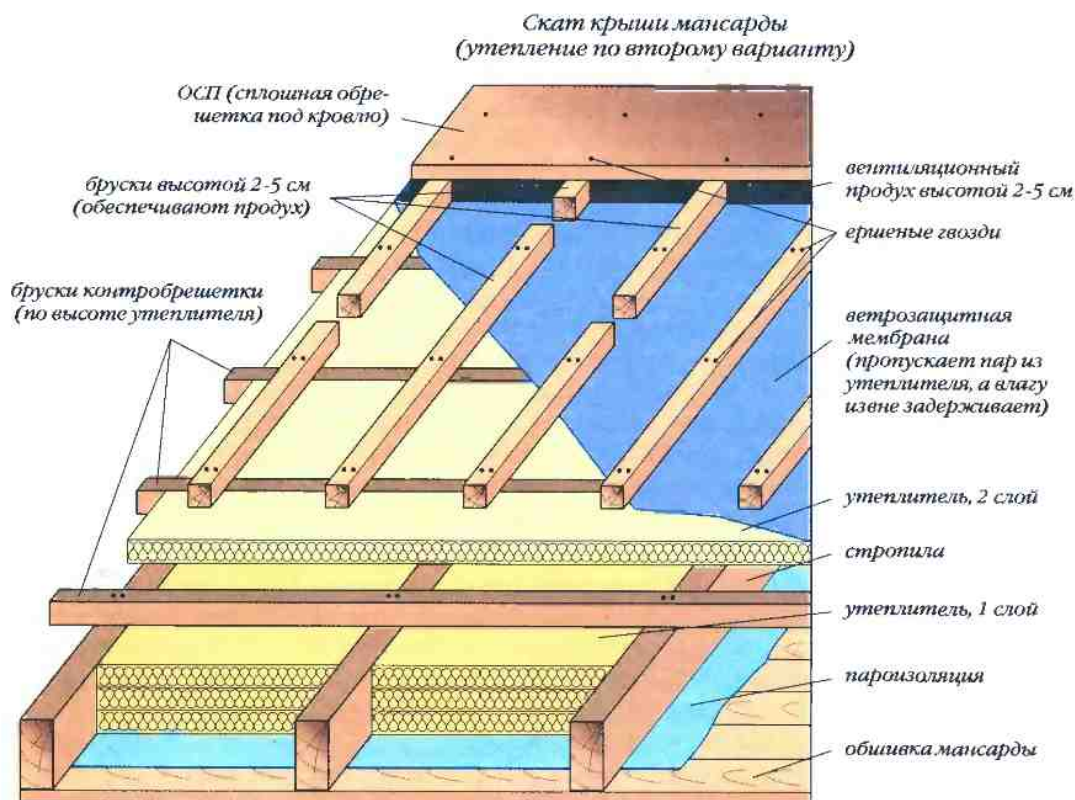
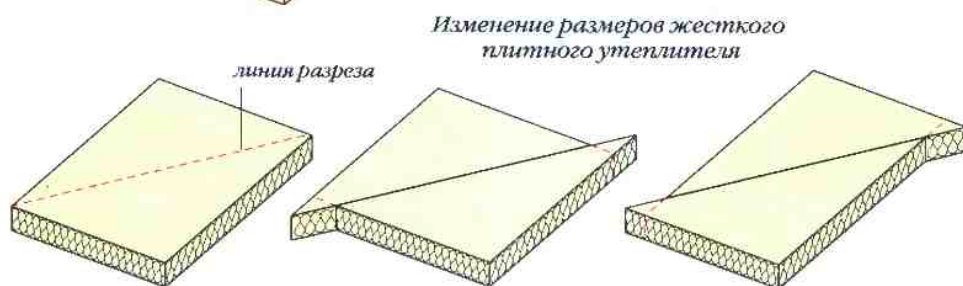
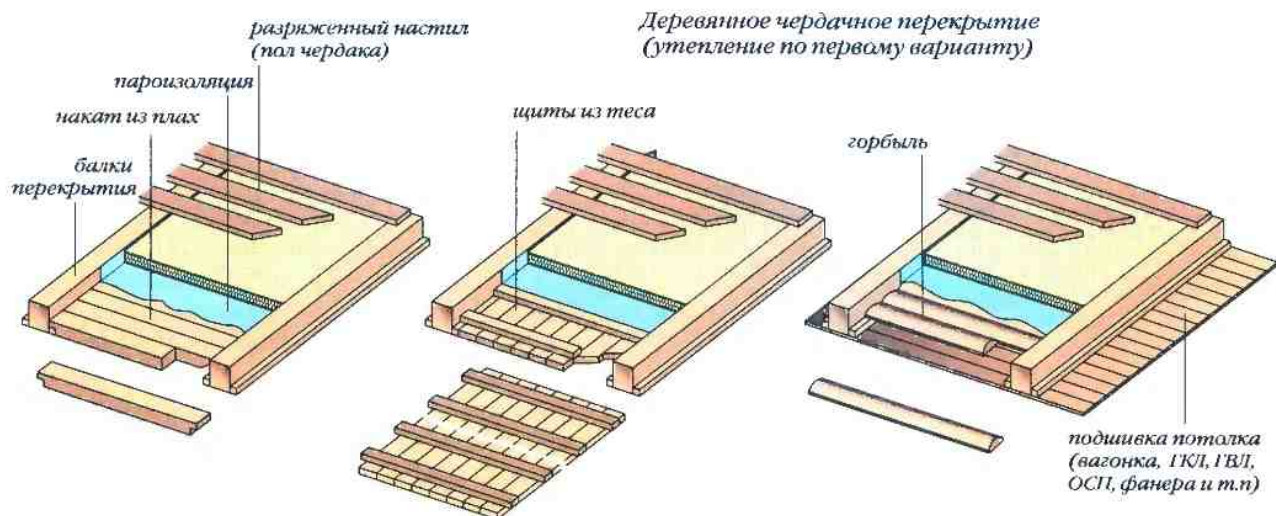


Рис. 67. Варианты утепления чердачного перекрытия и мансардной крыши

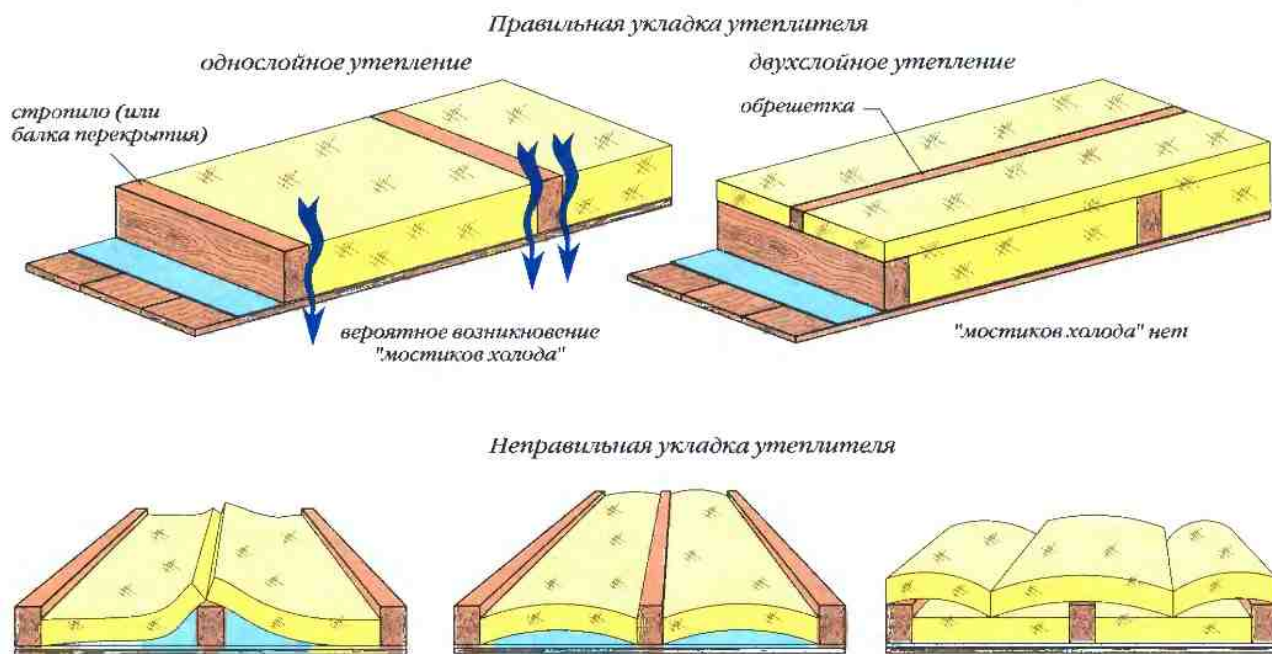


Рис. 68. Правильная и неправильная укладка утеплителя

ре укладки утеплителя. Работать придется в плотной одежде, очках и, желательно, в респираторе. Иногда для закрепления утеплителя используют монтажную пену, нанося ее на торцы утеплительных плит. Вполне допустимый вариант, но только если пена наносится небольшими порциями и используется как клей. При ошибке в объеме наносимой пены она закупорит вентиляционный продух и все труды по утеплению крыши пойдут насмарку, а дозировать монтажную пену очень трудно. Поэтому многие строители категорично говорят: при монтаже утеплителя никакой пены!

Теплоизоляционный материал должен заполнять все пространство, предусмотренное для него (рис. 68). В теплоизоляционном слое не должны оставаться впадины или полости для прохода воздуха.

Немного об утеплителе. Он должен обладать следующими свойствами: являться долговечным, негорючим, устойчивым к старению материалом; быть биологически стойким; иметь стабильную форму; монтироваться сплошным слоем, исключая возникновение «мостиков холода»; обладать высокими теплоизолирующими характеристиками; позволять водяным парам и влаге беспрепятственно попадать в воздушную прослойку, предотвращая образование и скопление на конструкциях разрушающего их конденсата; быть устойчивым к ветровому потоку; быть неагрессивным к металлам.

В качестве утеплителя наиболее доступна минеральная вата, хотя используют и стекловату. Эти материалы являются неблагоприятной средой для образования плесневых и других грибов, а также обладают высокими тепло- и шумопоглощающими свойствами. Минеральная вата значительно снижает риск возникновения стоячих звуковых волн внутри ограждающей конструкции, тем самым усиливая изоляцию воздушного шума. Звукопоглощающие свойства материала увеличивают затухание акустических волн и значительно снижают звуковой уровень помещения.

Изоляционные материалы из минеральной ваты отличаются высокой химической стойкостью. Более того, минеральная вата является химически пассивной средой и не вызывает коррозию контактирующих с ней металлов. Теплоизоляционные и механические

свойства изделий из минеральной ваты сохраняются на первоначальном уровне в течение десятков лет.

В зависимости от области применения и технических характеристик выпускают теплоизоляционные материалы из минеральной ваты различных марок. Изоляция крыши включает в себя как мягкие плиты и маты, так и жесткие и полужесткие плиты, используемые на крутых скатах. Достоинства минераловатных материалов дополняет легкость выполнения монтажа. Все минераловатные изделия на основе базальтовых горных пород — экологически безопасны. Мягкие изделия режутся ножом, а более плотные — ножовкой.

Минераловатные материалы обладают высокой паропроницаемостью. Проходящий сквозь минераловатный утеплитель пар конденсируется в его толще. В результате происходит неизбежное уменьшение термического сопротивления ограждающей конструкции в течение всего холодного времени года. Поэтому конструкция крыши должна быть спроектирована таким образом, чтобы минимизировать прохождение паров влаги и, как следствие, возникновение конденсата. Другими словами, крыша должна быть защищена с «теплой» стороны пароизоляционным барьером, то есть, покрыта с внутренней стороны слоем полиэтиленовой пленки или пергамином, или другим пароизоляционным материалом. Сверху же, напротив, должны быть созданы благоприятные условия для свободного выхода пара (высыхания наружной поверхности стены и утеплителя).

После утепления крыши минераловатными плитами желательно по каркасу натянуть ветрозащитную мембрану. Лучше всего для этих целей зарекомендовали себя двусторонние мембраны, например, Tyvek. Они пропускает водяной пар из утеплителя наружу в воздушную прослойку и препятствует проникновению воды из воздушной прослойки к утеплителю и древесине стропил. Мембраны способствуют отводу водяных паров, высыханию утеплителя и препятствует его разрушению в результате выветривания и уноса частичек утепляющего материала воздушным потоком.

В качестве утеплителя применяют и пенополистирол. Этот утеплитель жестче минераловатных плит и меньше подвержен усадке под собственным весом. Экструдированный вспененный полистирол обладает еще одним замечательным свойством — низкой паропроницаемостью, он менее требователен к качеству пароизоляции и не требует укладки сверху ветрозащитной пленки. Однако у этого утеплителя есть свои недостатки, пенополистирол звукопроницаем, он плохо гасит звуковые волны, к тому же его «полюбили» грызуны. Используя пенополистирол для утепления крыши, нужно быть готовым к тому, что в доме будет слышен шум дождя и бегающих по крыше кошек, но укладка его обойдется проще и дешевле, чем установка минераловатных плит. Теплосопротивление пенополистирола и жестких минераловатных плит примерно одинаково.

Расчет толщины утеплителя для мансардной крыши и перекрытия «холодного чердака».

Мансардные крыши и чердачные перекрытия это многослойные строительные конструкции, в которых каждый слой обладает определенной сопротивляемостью прохождению тепла. Общая сопротивляемость конструкции определяется нормативными документами для различных регионов строительства. Страна у нас большая и климат разный, если для южного региона, например, для равнин в районе г. Сочи тепловое сопротивление может быть величиной незначительной, то для г. Анадыря оно достигает очень больших величин. Нормируемое тепловое сопротивление R для различных регионов страны представлено на карте рисунка 16. Что оно означает? Способность конструкции удерживать тепло. Не секрет, что при желании мы можем нагреть воздух до комфортной температуры и в туристической палатке, но при этом сожжем достаточно большое количество топлива, тепло сквозь тонкий брезент будет улетучиваться на улицу. Если мы сумеем увеличить теплосопротивление ограждающей конструкции (накрыть палатку одеялом), то топлива для ее обогрева понадобится значительно меньше.

Нормируемое тепловое сопротивление привязывается к такой величине, которая называется градусо-сутками отопительного периода, эта величина характеризует сколько градусов тепла должны подать котельные за отопительный период, чтобы температура в

помещении оставалось комфортной для человека. На основании этой величины и выведены нормативные тепловые сопротивления для стен, перекрытий и покрытий. Эти величины разные, поскольку сквозь стены тепла в атмосферу просачивается меньше, чем через перекрытие и покрытие.

При выборе толщины утепления нужно делать три расчета: для стен — боковые стены мансарды, для покрытия — скаты мансарды и для перекрытия — при полном утеплении перекрытия чердака (в «холодных крышах») либо частичном в мансардном перекрытии.

Что произойдет, если не придерживаться норм и сделать утепление тоньше нормативного? В общем, ничего страшного. При автономном отоплении вы будете просто больше тратить денег на обогрев своего дома, а при централизованном — того тепла, что подаст котельная, будет недостаточно для поддержания комфортной температуры воздуха в помещении. Однако это касается только домов постоянного проживания. В дачных домах, эксплуатирующихся в основном в летний период и изредка зимой, делать утепление нормативной толщины, конечно, желательно, но совсем не обязательно, хотя ученые и утверждают в один голос, что утепление дома существенно снижает затраты на отопление. Это действительно так, но еще раз повторимся, только для домов постоянного проживания. Единовременные затраты на утепление дачного дома, который посещается зимой всего два-три раза, вряд ли будут меньше долговременных затрат на отопление.

Простейший (прикидочный) расчет толщины утепления делается по формуле:

$$T_{\text{ут}} = (R - 0,16 - T_1/k_1 - T_2/k_2 - T_i/k_i)k_{\text{ут}}$$

где T_i — расчетная толщина слоя конструкции (утеплителя, обшивки мансарды, кровли и т. д.), (м); R — нормируемое для данного региона строительства тепловое сопротивление строительной конструкции (стены, покрытия либо перекрытия), ($\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$); k_i — коэффициент теплопроводности материала слоя, ($\text{Вт}/\text{м} \times ^\circ\text{C}$), принимается по таблице 9 или по СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» либо по техническим характеристикам фирмы-изготовителя материала.

Расчет очень прост, главное не запутаться в единицах измерения, все толщины слоев подставляются в формулу в метрах. Например, нужно рассчитать толщину утеплителя в скате мансардной крыши. Мансарда подшивается изнутри деревянной вагонкой, затем пароизоляция из полиэтиленовой пленки, затем утеплитель — минеральная вата. Нужно просто поставить в формулу толщины слоев каждого материала и их коэффициент теплопроводности, произвести арифметические действия и получить требуемую толщину утепления.

Этого расчета вполне хватит для установления толщины утеплителя, дополнительный расчет на составление температурных полей и выпадение росы в утеплителе, как правило, в этом случае, излишен.

Теплотехнические показатели строительных материалов

Таблица 11

Материал	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности k в сухом состоянии, $\text{Вт}/\text{м} \times ^\circ\text{C}$
1	2	3
1. Бетоны и растворы		
А. Бетоны на плотных природных заполнителях		
1. Железобетон	2500	1,69
2. Бетон на гравии, щебне из природного камня	2400	1,51
Б. Бетоны на пористых природных заполнителях		
3. Туфобетон	1800	0,64
4. -/-	1600	0,52
5. -/-	1400	0,41
6. -/-	1200	0,29
7. Пемзобетон	1600	0,52

1	2	3
8. Пемзобетон	1400	0,42
9. -/-	1200	0,34
10. -/-	1000	0,26
11. -/-	800	0,19
12. Бетон на вулканическом шлаке	1600	0,52
13. -/-	1400	0,41
14. -/-	1200	0,33
15. -/-	1000	0,24
16. -/-	800	0,20
В. Бетоны на искусственных пористых заполнителях		
17. Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1800	0,66
18. То же	1600	0,58
19. -/-	1400	0,47
20. -/-	1200	0,36
21. -/-	1000	0,27
22. -/-	800	0,21
23. -/-	600	0,16
24. -/-	500	0,14
25. Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	1200	0,41
26. То же	1000	0,33
27. -/-	800	0,23
28. Керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,28
29. -/-	800	0,22
30. Шунгизитобетон	1400	0,49
31. -/-	1200	0,36
32. -/-	1000	0,27
33. Перлитобетон	1200	0,29
34. -/-	1000	0,22
35. -/-	800	0,16
36. -/-	600	0,12
37. Шлакопемзобетон (термозитобетон)	1800	0,52
38. -/-	1600	0,41
39. -/-	1400	0,35
40. -/-	1200	0,29
41. -/-	1000	0,23
42. Шлакопемзопено- и лакопемзогазобетон	1600	0,47
43. То же	1400	0,35
44. -/-	1200	0,29
45. -/-	1000	0,23
46. -/-	800	0,17
47. Бетон на доменных гранулированных шлаках	1800	0,58
48. То же	1600	0,47
49. -/-	1400	0,41
50. -/-	1200	0,35
51. Аглопоритобетон и бетоны на топливных (котельных) шлаках	1800	0,70
52. То же	1600	0,58
53. -/-	1400	0,47
54. -/-	1200	0,35
55. -/-	1000	0,29

1	2	3
56. Бетон на зольном гравии	1400	0,47
57. -/-	1200	0,35
58. -/-	1000	0,24
59. Вермикулитобетон	800	0,21
60. -/-	600	0,14
61. -/-	400	0,09
62. -/-	300	0,08
Г. Бетоны ячеистые		
63. Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	1000	0,29
64. -/-	800	0,21
65. -/-	600	0,14
66. -/-	400	0,11
67. -/-	300	0,08
68. Газо- и пенозолобетон	1200	0,29
69. -/-	1000	0,23
70. -/-	800	0,17
Д. Цементные, известковые и гипсовые растворы		
71. Цементно-песчаный	1800	0,58
72. Сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,52
73. Известково-песчаный	1600	0,47
74. Цементно-шлаковый	1400	0,41
75. -/-	1200	0,35
76. Цементно-перлитовый	1000	0,21
77. -/-	800	0,16
78. Гипсоперлитовый	600	0,14
79. Поризованный гипсоперлитовый	500	0,12
80. -/-	400	0,09
81. Плиты из гипса	1200	0,35
82. -/-	1000	0,23
83. Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка ГКЛ)	800	0,15
2. Кирпичная кладка и облицовка природным камнем		
А. Кирпичная кладка из сплошного кирпича		
84. Глиняного обыкновенного (ГОСТ 530-80) на цементно-песчаном растворе	1800	0,56
85. Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,52
86. Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,47
87. Силикатного (ГОСТ 379-79) на цементно-песчаном растворе	1800	0,70
88. Трещельного (ГОСТ 648-73) на цементно-песчаном растворе	1200	0,35
89. То же	1000	0,29
90. Шлакового на цементно-песчаном растворе	1500	0,52
Б. Кирпичная кладка из кирпича керамического и силикатного пустотного		
91. Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,47

1	2	3
91. Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,47
92. Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1400	0,41
93. Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,35
94. Силикатного одиннадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1500	0,64
95. Силикатного четырнадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1400	0,52
В. Облицовка природным камнем		
96. Гранит, гнейс и базальт	2800	3,49
97. Мрамор	2800	2,91
98. Известняк	2000	0,93
99. -/-	1800	0,70
100. -/-	1600	0,58
101. -/-	1400	0,49
102. Туф	2000	0,76
103. -/-	1800	0,56
104. -/-	1600	0,41
105. -/-	1400	0,33
106. -/-	1200	0,27
107. -/-	1000	0,21
3. Дерево, изделия из него и других природных органических материалов		
108. Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486-66, ГОСТ 9463-72")	500	0,09
109. Сосна и ель вдоль волокон	500	0,18
110. Дуб поперек волокон (ГОСТ 9462-71*, ГОСТ 2695-83)	700	0,10
111. Дуб вдоль волокон	700	0,23
112. Фанера клееная (ГОСТ 3916-69)	600	0,12
113. Картон облицовочный	1000	0,18
114. Картон строительный многослойный (ГОСТ 4408-75*)	650	0,13
115. Плиты древесно-волокнистые и древесно-стружечные (ГОСТ 4598-74*, ГОСТ 10632-77*)	1000	0,15
116. То же	800	0,13
117. -/-	600	0,11
118. -/-	400	0,08
119. -/-	200	0,06
120. Плиты фибролитовые (ГОСТ 8928-81) и арболит (ГОСТ 19222-84) на портландцементе	800	0,16
121. То же	600	0,12
122. То же	400	0,08
123. -/-	300	0,07
124. Плиты камышитовые	300	0,07
125. -/-	200	0,06
126. Плиты торфяные теплоизоляционные (ГОСТ 486 1-74)	300	0,064

1	2	3
1 27. Плиты торфяные теплоизоляционные (ГОСТ 486 1-74)	200	0,052
1 28. Пакля	150	0,05
4. Теплоизоляционные материалы		
А. Минераловатные и стекловолокнистые		
129. Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880-76) и на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-82)	125	0,056
130. То же	75	0,052
131. -/-	50	0,048
132. Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом и битумном связующих (ГОСТ 9573-82, ГОСТ 10140-80, ГОСТ 12394-66)	350	0,091
133. То же	300	0,084
134. -/-	200	0,070
135. -/-	100	0,056
136. -/-	50	0,048
137. Плиты минераловатные повышенной жесткости на органофосфатном связующем (ТУ 21-РСФСР-3-72-76)	200	0,064
138. Плиты полужесткие минераловатные на крахмальном связующем (ТУ 400-1-61-74 Мосгорисполкома)	200	0,07
139. То же	125	0,056
140. Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499 - 78)	50	0,056
141. Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные (ТУ 21-23-72-75)	150	0,061
Б. Полимерные		
142. Пенополистирол (ТУ 6-05-1 1-78-78)	150	0,05
143. То же	100	0,041
144. Пенополистирол (ГОСТ 15588-70*)	40	0,038
145. Пенопласт ПХВ-1 (ТУ 6-05-1179-75) и ПВ-1 (ТУ 6-05- 11 58-78)	125	0,052
146. То же	100 и менее	0,041
147. Пенополиуретан (ТУ В-56-70, ТУ 67-9875, ТУ 67-87-75)	80	0,041
148. То же	60	0,035
149. -/-	40	0,029
150. Плиты из резольнофенолформальдегидного пенопласта (ГОСТ 20916-75)	100	0,047
151. То же	75	0,043
152. То же	50	0,041
153. -/-	40	0,038
154. Перлитопластбетон (ТУ 480- 1-145-74)	200	0,041
155. -/-	100	0,035
156. Перлитофосфогелевые изделия (ГОСТ 21500-76)	300	0,076
157. То же	200	0,064

1	2	3
В. Засыпки		
158. Гравий керамзитовый (ГОСТ 9759-83)	800	0,18
159. Гравий керамзитовый (ГОСТ 9759-83)	600	0,14
160. -/-	400	0,12
161. -/-	300	0,108
162. -/-	200	0,099
163. Гравий шунгизитовый (ГОСТ 19345-83)	800	0,16
164. -/-	600	0,13
165. -/-	400	0,11
166. Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578-76), шлаковой пемзы (ГОСТ 9760-75) и аглопорит (ГОСТ 11991-83)	800	0,18
167. То же	600	0,15
168. -/-	400	0,122
169. Щебень и песок из перлита вспученного (ГОСТ 10832-83)	600	0,11
170. То же	400	0,076
171. -/-	200	0,064
172. Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865-67)	200	0,076
173. То же	100	0,064
174. Песок для строительных работ (ГОСТ 8736-77)	1600	0,35
Г. Пеностекло или газостекло		
175. Пеностекло или газостекло (ТУ 21-БССР-86-73)	400	0,11
176. То же	300	0,09
177. -/-	200	0,07
5. Материалы кровельные, гидроизоляционные и рулонные покрытия для полов		
178. Листы асбестоцементные плоские (ГОСТ 18124-75*)	1800	0,35
179. То же	1600	0,23
180. Битумы нефтяные строительные и кровельные (ГОСТ 6617-76*, ГОСТ 9548-74*)	1400	0,27
181. То же	1200	0,22
182. -/-	1000	0,17
183. Асфальтобетон (ГОСТ 9128-84)	2100	1,05
184. Изделия из вспученного перлита на битумном связующем (ГОСТ 16136-80)	400	0,111
185. То же	300	0,087
186. Рубероид (ГОСТ 10923-82). Пергамин (ГОСТ 2697-83). Толь (ГОСТ 10999-76*)	600	0,17
187. Линолеум поливинилхлоридный многослойный (ГОСТ 14632-79)	1800	0,38
188. То же	1600	0,33
189. Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове (ГОСТ 7251-77)	1800	0,35
190. То же	1600	0,29
191. -/-	1400	0,23
6. Металлы и стекло		
192. Сталь стержневая арматурная (ГОСТ 10884-81)	7850	58
193. Стекло оконное (ГОСТ 111-78)	2500	0,76

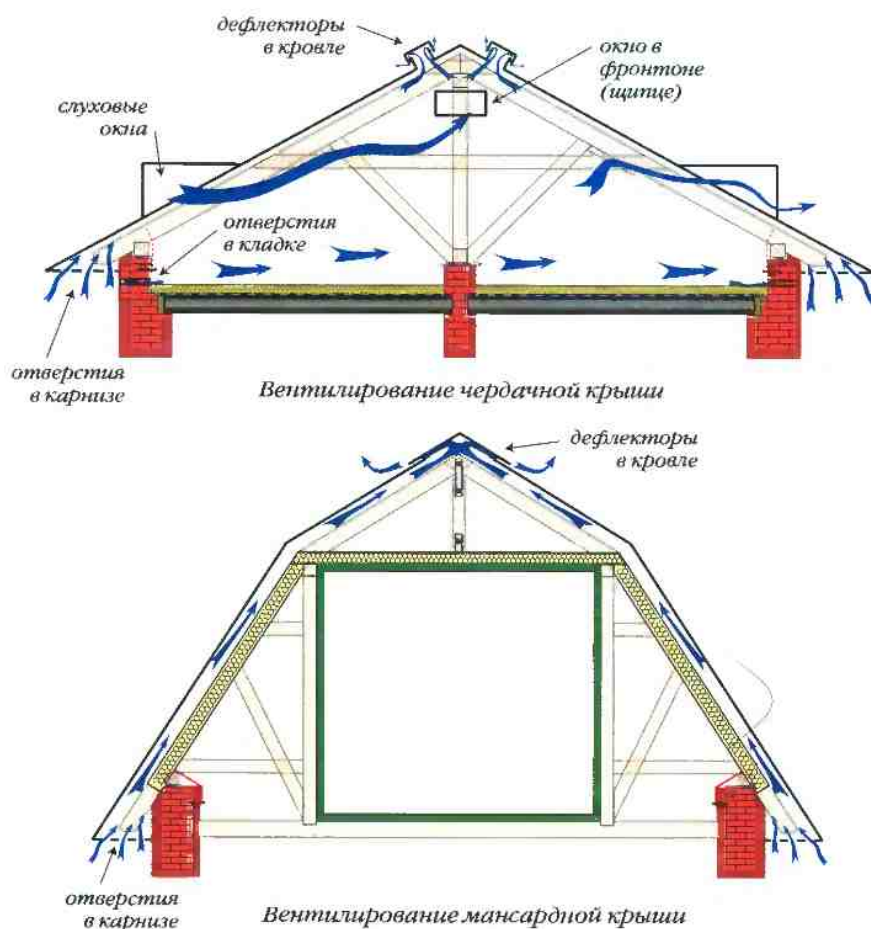


Рис. 69. Принципиальные схемы вентиляции крыши

Скатные крыши необходимо устраивать с проветриваемыми конструкциями. К ним относятся как «холодные» с нежилым чердачным помещением, так и «жилые мансарды», в которых утеплитель установлен по направлению ската (рис. 69).

Задачи вентиляции следующие:

- удаление остаточного водяного пара, пропикающего навверх из внутренних помещений;
- выравнивание температуры по всей поверхности крыши (во избежание образования льда на холодных карнизных свесах вследствие таяния снега над обогреваемыми поверхностями скатов);
- снижение напыла тепла, возникающего под кровельной обшивкой под действием солнечного излучения.

Принцип вентиляции подкровельного прост-

ранства жилой мансарды — это создание конвективного воздушного потока внутри конструкции ската крыши — от карниза вверх к коньку. Для этого требуется:

- сделать вентиляционную камеру — воздушную прослойку между утеплителем и основанием кровли, требуемая высота которой определяется на основе расчета ее осушающего эффекта за годовой период эксплуатации и должна быть не менее 50 мм;
- обеспечить возможность беспрепятственного прохода воздушного потока от карниза к коньку;
- обеспечить приток воздуха по карнизу (как непрерывно — вдоль всего карниза, так и точечно — при помощи специальных вентиляционных решёток, врезаемых в подшивку карнизного свеса, софитных планок, либо кровельных аэраторов).
- устроить вытяжные отверстия в верхней части крыши (для создания хорошей тяги площадь вытяжных отверстий должна быть не менее площади приточных отверстий).

Площадь приточных и вытяжных отверстий, необходимых для вентиляции чердачного пространства, должна быть рассчитана в зависимости от объема, функционального назначения, заданной температуры воздуха и других параметров. В случае отсутствия необходимой информации в проектной документации, для вентиляции чердака, как минимум, следует предусматривать устройство приточно-вытяжных отверстий общей площадью сечения не менее $1/300$ – $1/500$ площади чердачного перекрытия. При этом необходимо обеспечить интенсивный воздухообмен по всему объёму чердачного помещения, исключая застой воздуха.

Рекомендации по обеспечению вентиляции подкровельного пространства:

1. Высота вентиляционного зазора между утеплителем и основанием кровли определяется по таблице 12 в зависимости от длины и угла наклона скатов крыши и должна составлять не менее 5 см.

Высота вентиляционного зазора (см)

Таблица 12

Длина ската крыши, м	Уклон крыши				
	10°	15°	20°	25°	30° и более
5	5	5	5	5	5
10	8	6	5	5	5
15	10	8	6	5	5
20	10	10	8	6	5
25	10	10	10	8	6

2. Суммарное сечение приточных, входных вентиляционных отверстий в расчете на погонный метр карниза определяется по таблице 13 в зависимости от длины и угла наклона скатов крыши.

Суммарное сечение входных вентиляционных отверстий (см)

Таблица 13

Длина ската крыши, м	Уклон крыши				
	10°	15°	20°	25°	30° и более
5	50	49	48	46	42
10	100	98	96	92	84
15	150	147	144	138	126
20	200	196	192	184	168
25	250	245	240	230	210

3. Суммарное сечение вытяжных вентиляционных отверстий по каждому скату должно быть не меньше суммарного сечения приточных отверстий. В качестве вытяжных отверстий могут использоваться вентиляционные коньки, точечные и «пристенные» аэраторы, вентиляционные колпаки для шатровых крыш, а также вентиляционные дефлекторы и турбины.

В общих случаях эти таблицы служат основой для проектирования; при более сложных конструкциях крыши задачей проектировщика является осуществление подробного расчета вентиляционного продуха.

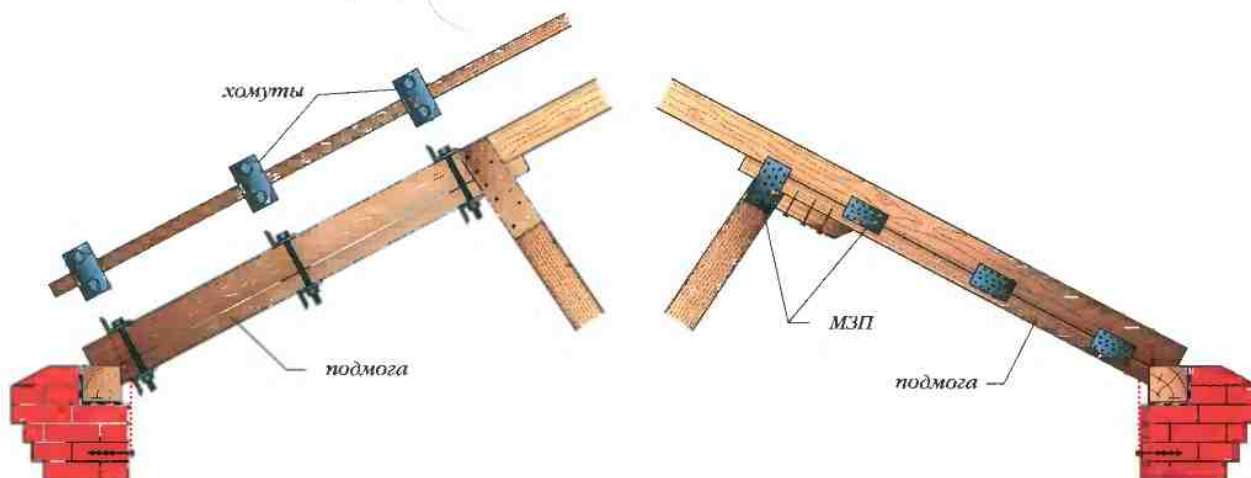


Рис. 70. Усиление стропильных ног подмогой

УСИЛЕНИЕ И РЕМОНТ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТРОПИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для увеличения несущей способности стропильных ног (рис. 70) как в наслонных, так и висячих стропильных системах применяют установку разгружающих балок (подмог), двухсторонних накладок и подкосов (только для наслонных стропил).

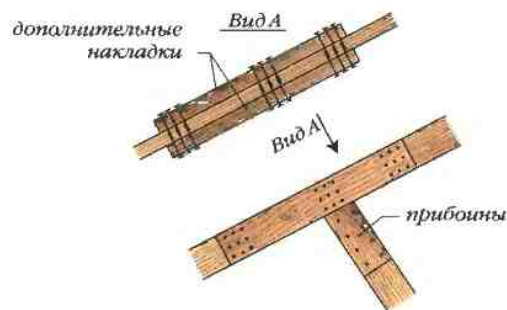


Рис. 71. Усиление опорного узла путем увеличения ширины стропила

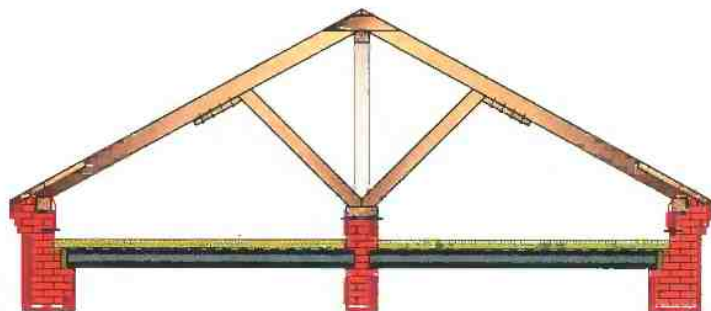
пила, чтобы оно проходило по расчету на прогиб. Крепят подмогу болтовыми хомутами или металлическими зубчатыми пластинами.

Другой опасный узел в неразрезной стропильной ноге — опирание на подкос. Когда-нибудь ломали палку через колено? Так вот, в этой расчетной схеме подкос и есть то самое колено, здесь возникает самый большой изгибающий момент, из-за которого приходится увеличивать сечение всей стропильной ноги. Прогиба в этом узле нет, поэтому можно увеличить не высоту стропила, а его ширину, путем закрепления двусторонних дощатых накладок (рис. 71). Ширина накладок подбирается при расчете сечения стропила на максимальный изгибающий момент. Накладки крепятся гвоздевым боем, болтами или, как и в предыдущем случае, болтовыми хомутами. Если стропило уже усиливается подмогой, то ее нужно сделать длиннее и вывести край за узел опирания на подкос. В этом случае решается сразу две задачи: усиление опорного узла и прогиба в пролете.

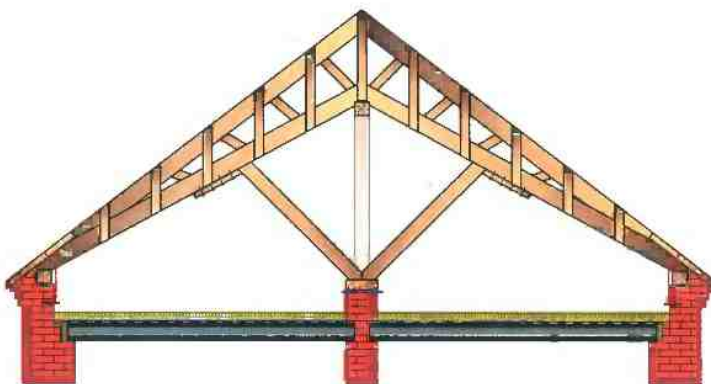
При реконструкции кровли под более крутой скат устанавливают новые стропила, сращивая их со старыми (если они не сгнили) дощато-гвоздевой перекрестной стенкой. Образующаяся при этом ферма обеспечивает не только новый уклон, но и повышенную жесткость стропильной конструкции

Как показывают расчеты, стропила в пролете между мауэрлатной балкой и подстропильной ногой с размерами сечения, подобранными по прочностным характеристикам, часто не проходят расчет на прогиб и приходится увеличивать их высоту. Увеличение высоты сечения всей стропильной ноги ведет к перерасходу пиломатериала, а если стропило сделать из двух досок разной высоты и состыковать их на подкосе, то теряется расчетная схема более рациональной неразрезной балки.

Изготовить стропильную ногу переменного сечения можно включением в нее дополнительной деревянной балки — подмоги. Подмогу крепят в пролете между мауэрлатом и подстропильной ногой, ее высотой подбирают высоту сечения стро-



Крыша до реконструкции



Крыша после реконструкции

Рис. 72. Дощато-гвоздевая ферма

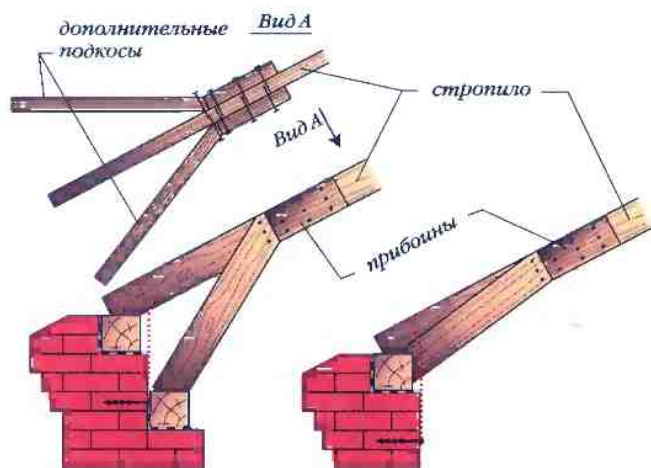


Рис. 73. Усиление низа стропильной ноги установкой дополнительных подкосов

(рис. 72). Этот метод позволяет не разбирать старую крышу и ускоряет работы, но и подкрышное пространство не увеличивает. Если целью изменения уклона скатов было устройство мансарды, то объем чердака останется прежним.

Иногда случается так, что для изготовления стропила не хватает длины доски и опирание на мауэрлат получается ненадежным, в этом случае к нижнему концу стропильной ноги можно прикрепить дополнительные подкосы, которые упирают в ту же мауэрлатную балку или в дополнительный лежень (рис. 73). Рекомендуется раздвигать нижние концы дополнительных подкосов — они обеспечивают лучшую устойчивость стропила. А подкосы, опертые на дополнительный лежень, частично

могут уменьшить прогиб стропила в пролете между подстропильной ногой и мауэрлатом. Дополнительные подкосы крепят гвоздевым боем с опиранием в прибойны на стропиле.

При использовании в строительстве крыши сырой древесины (влажностью более 25%) и недостаточной вентиляции холодного чердака, при высоко расположенных слуховых окнах, малой их площади, либо при отсутствии чердачных продухов, возможно загнивание нижнего конца стропильных ног или мауэрлата.

Также загнивание может наступить при отсутствии или повреждении пароизоляции и воздушных продухов в конструкции утепленной мансардной крыши или закупоривание их концов. Либо при увлажнении древесины стропильных ног и мауэрлата в крышах любого типа при протечке кровли, либо при отсутствии гидроизоляционного слоя между древесиной и кладкой стены и увлажнение древесины от кладки.

Существует несколько способов восстановления и усиления поврежденных конструкций.

1. Применение деревянных накладок. Их используют при одиночном повреждении стропильных ног. Усиление проводят путем установки усиливающих деревянных накладок с закреплением болтами или гвоздевым боем. Опирание накладок на мауэрлат должно быть всем торцом с последующей установкой проволоочной скрутки (рис. 74).

2. Использование прутковых протезов. Их применяют при массовом повреждении стропильных ног. До начала работ поврежденную стропильную ногу укрепляют на временных опорах, разбирают покрытие и выпиливают сгнившую часть стропильной ноги. Протез надевают на стропильную ногу и укладывают на мауэрлат. Спленный торец стропильной ноги упирают в опорную площадку протеза, которая предотвращает ее сползание. Жесткость верхнего сжатого пояса протеза обеспечивает подкосная решетка.

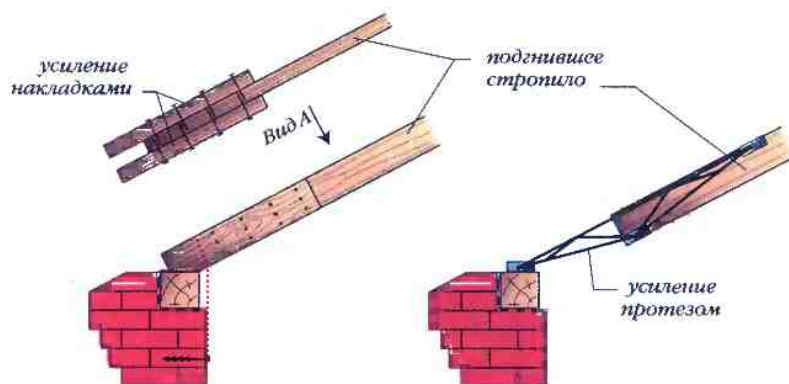


Рис. 74. Ремонт узла опирания накладками и протезами при повреждении стропил

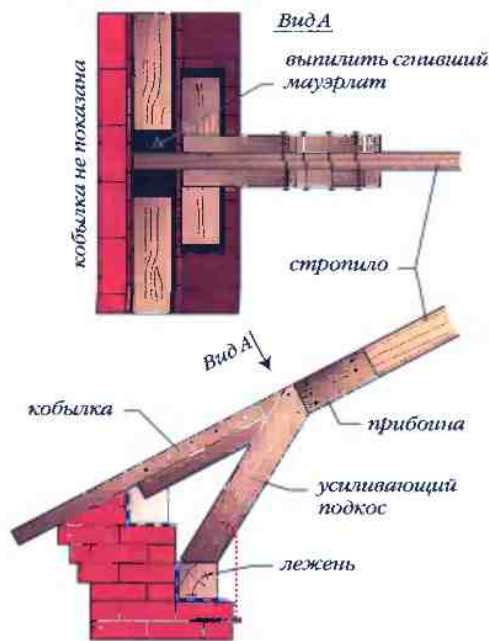


Рис. 75. Ремонт узла опирания при повреждении мауэрлата

ди чердачного перекрытия. Ширина продухов должна быть в пределах 2-2,5 см. Нужно измерить и при необходимости увеличить до расчетной толщину утеплителя. Слжавшийся утеплитель необходимо разрыхлять примерно один раз в пять лет. У наружных стен при ширине до 1 м толщина его может быть увеличена до 50% выше расчетной. Следует проверить и, если необходимо, то восстановить пароизоляцию под слоем утеплителя.

3. Использование накладок, опирающихся на балку. Этот вариант применяют при необходимости замены сгнившего участка мауэрлата и конца стропильной ноги (рис. 75). До начала работ стропильную ногу укрепляют временными опорами, вырезают сгнившие участки ноги и мауэрлата, забивают в кладку костыли и укладывают на них балку длиной 1 м. Если конструкция стен и перекрытия позволяет, а чаще всего это именно так, то на ступу или перекрытие укладывают метровый кусок лежня. В эту балку упирают два подкоса, закрепленные на гвоздях по обе стороны стропильной ноги. Обрешетку поддерживают новой удлиненной кобылкой.

При недостаточном воздухообмене чердачного помещения, а вследствие этого развитии грибковых спор и загнивания древесины деревянных конструкций крыши проводят ряд мероприятий для восстановления вентиляции (рис. 76). В чердачном помещении следует изучить характер движения воздуха, определить температуру воздуха на верхней границе утеплителя (она не должна превышать 2°C при любой отрицательной температуре наружного воздуха) и устроить дополнительные продухи и слуховые окна. Площадь сечения слуховых окон и продухов должна составлять 1/300–1/500 площа-

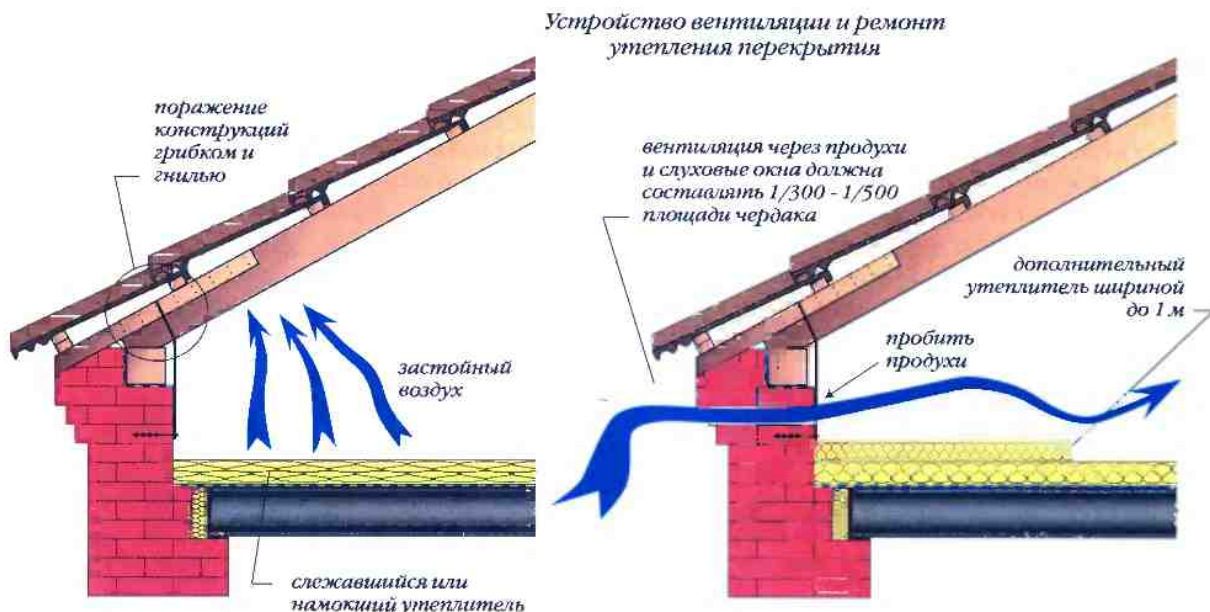


Рис. 76. Устройство нормального процесса воздухообмена в чердачной крыше

СОДЕРЖАНИЕ

КЛАССИФИКАЦИЯ КРЫШ.....	3
СКАТНЫЕ КРЫШИ.....	6
Нагрузки, действующие на несущую конструкцию скатных крыш.....	7
КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ НАСЛОННЫХ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	26
Стропильные системы	26
Подбор сечения наслонных стропил	47
Подстропильные конструкции	54
Диагональные стропильные ноги	64
«Врезание» крыш друг в друга	68
Проход вентиляционных и дымовых труб	71
Последовательность работ по устройству крыши с наслонными стропилами	71
КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ВИСЯЧИХ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ	78
КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА КОМБИНИРОВАННОЙ СТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.....	94
КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ МАНСАРДНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ СИСТЕМ	96
УТЕПЛЕНИЕ СКАТНЫХ КРЫШ	103
УСИЛЕНИЕ И РЕМОНТ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТРОПИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	116

Примеры расчетов стропильных конструкций, прогонов и узлов приведены в качестве иллюстраций к схемам работы стропильных систем. Они могут быть использованы в качестве вспомогательного материала при предварительном подборе сечений несущих элементов крыши. Однако настоящий расчет должен выполняться конструкторскими и проектными бюро, так как приведенные в книге примеры, это всего лишь грубое приближение к действительной проектной документации.