

# СТАЛЬНЫЕ МОСТЫ

## Область применения.

### Характеристика стальных мостов

Стальными называются мосты, главные пролетные строения которых выполнены из стали. Опоры их могут быть из бетона, железобетона и других материалов. Строительные стали обладают высокой прочностью, пластичностью и ударной вязкостью, поэтому стальные мосты имеют наибольшие пролеты и надежно работают под тяжелыми динамическими нагрузками. Уже к последней четверти XX в. длина пролетов металлических мостов достигала 1400 м, а длина пролетов железобетонных мостов превышала 300 м. Стальные пролетные строения имеют различные статические схемы и разнообразные конструктивные формы. Они легко расчленяются на крупные блоки или элементы, удобные для изготовления, перевозки и монтажа. Масса стальных пролетных строений значительно меньше соответствующих железобетонных, что уменьшает нагрузку на опоры мостов, снимает транспортные расходы. К преимуществам стальных пролетных строений мостов относятся возможность максимальной индустриализации их изготовления на заводах, применение автоматической электросварки, высокая степень готовности конструкций, комплексная механизация и малая трудоемкость монтажа различными способами в любое время года и в очень короткие сроки. Стальные пролетные строения имеют длительные сроки службы. Они могут быть сравнительно просто усилены при возрастании временной подвижной нагрузки. Основным недостатком таких пролетных строений является коррозия металла. Применение антикоррозийных сталей и специальных покрытий, а также тщательный надзор за состоянием металла в процессе эксплуатации, устраняют этот недостаток. Стальные мосты сооружают в районах с любыми климатическими условиями. На железных дорогах нашей страны они составляют более 50 % протяженности всех мостов.

Металлические мосты различаются по конструкции пролетных строений, роду езды, статической схеме, по способу соединения конструктивных элементов.

По конструкции пролетные строения бывают двух видов: со сплошной стенкой и со сквозными фермами; большие пролеты выгоднее перекрывать сквозными фермами, а малые — балками со сплошной стенкой. При современных технологиях сплошностенчатые балки оказываются

более экономичными в пролетах до 80—100 м.

По роду езды различаются пролетные строения с ездой поверху и ездой понизу. По статической схеме пролетные строения разделяются на балочные (разрезные, неразрезные, консольные), арочные, рамные, вантовые и висячие. Наиболее распространенными являются балочные пролетные строения с разрезными сквозными фермами, перекрывающие пролеты до 160 м. Пролетные строения с неразрезными и консольными фермами применяют главным образом на крупных реках и в путепроводах. Арочные металлические мосты применяются на железных дорогах так же широко, как и балочные. Висячие мосты в нашей стране применяются в основном на автомобильных дорогах. В конце XX в. получили широкое распространение вантовые, балочно-рамные и рамные мосты.

По способу соединения элементов пролетные металлические строения могут быть клепаными, клепано-сварными, цельносварными, на высокопрочных болтах и на обычных болтах.

Применение стальных мостов должно быть обосновано технико-экономическими расчетами. Стальные мосты целесообразны при больших пролетах, так как большие пролеты сокращают количество опор, что при высоких опорах и глубоких фундаментах существенно снижает объемы работ, сокращает продолжительность и стоимость строительства.

Главными задачами в области проектирования и строительства стальных мостов являются: широкое внедрение высокопрочных сталей, снижение расхода металла, укрупнение элементов пролетных строений при изготовлении их на заводах, упрощение монтажных стыков, дальнейшее совершенствование электросварки и технологии заводского изготовления и монтажа стальных конструкций пролетных строений.

## **Сталь для мостов**

Для конструкции мостов, работающих на многократно повторяющиеся тяжелые динамические нагрузки, применяют высококачественные углеродистые или низколегированные мартеновские и конверторные горячекатаные стали, удовлетворяющие требованиям СНиП и ГОСТов.

По стандарту марка углеродистой стали обыкновенного качества обозначается буквами Ст и цифрами от 0 до 7. Качественные углеродистые стали маркируются двухзначными цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента (0,8; 25 и т.д.) В обозначение марок кипящей стали добавляются «кп», полуспокойный — «пс», спокойной — «сп». Например: Ст3сп, Ст5пс, Ст2кп. В отличие от мар-

кировки углеродистых сталей, буквы в марке низколегированных сталей показывают наличие в стали легирующих примесей, а цифры — их среднее содержание в процентах; предшествующие буквам цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Для маркировки стали каждому легирующему элементу присвоена определенная буква: кремний — С, марганец — Г, хром — Х, никель — Н, молибден — М, вольфрам — В, алюминий — Ю, медь — Д, кобальт — К. Первые цифры обозначают содержание углерода в сотых долях процента, затем буквой указан легирующий элемент и последующими цифрами — его среднее содержание.

*Углеродистая сталь* — сплав железа с углеродом и незначительным количеством примесей, находящихся в руде.

Увеличение количества углерода повышает прочность, но снижает пластичность и свариваемость стали. В мостовых конструкциях применяют малоуглеродистые стали, содержащие не более 0,25 % углерода. Стали содержат вредные примеси: серу, фосфор. Сера уменьшает прочность стали, делает ее при температуре 800—1000 °С хрупкой (красноломкой), что влечет за собой появления трещин при сварке. Фосфор резко уменьшает пластичность и ударную вязкость стали, делает ее хрупкой при отрицательных температурах (хладноломкой). В сталях для мостовых конструкций обычного исполнения содержание серы должно быть не более 0,035 % и фосфора — не более 0,035%.

В зависимости от способа выплавки и раскисления, стали делятся на спокойные (сп), полуспокойные (пс) и кипящие (кп). Спокойные стали обладают большей плотностью и однородностью строения. По условиям поставки углеродистые стали делятся на три группы: А, Б и В, а по нормируемым показателям качества — на шесть категорий. Например, марка ВСт3пс5 обозначает углеродистую сталь 3, группы В, полуспокойной выплавки и пятой категории.

*Низколегированная сталь* — сплав железа с углеродом и легирующими добавками (до 2,5 %), повышающими прочность, но несколько снижающими пластичность и вязкость стали. Низколегированные стали в зависимости от вида термообработки подразделяются на три категории:

1 — без термической обработки (сырая); 2 — нормализованная; 3 — термически улучшенная после закалки и высокого отпуска. Категория стали указывается цифрой после обозначения марки, например, 10ХСНД-2. Категория 1 не обозначается, а вместо цифры 3 иногда указывается минимальный предел текучести, например, 15ХСНД — 40. Применение низколегированных сталей обеспечивает снижение расхода стали на 15—18 % и сметной стоимости пролетных строений на 12—15 % по сравнению с углеродистой сталью.

*Марки стали.* Мостовые конструкции изготавливают из сталей различных марок, отличающихся друг от друга химическими свойствами. Для основных несущих элементов пролетных строений применяют специальные стали марок 16Д, 15ХСНД, 10ХСНД всех категорий. Для второстепенных элементов мостовых конструкций применяются стали марок ВСт3, ВСт2, 09Г2С, 10Г2С, 14Г2 и др.

*Свойства сталей.* К сталям относятся железоуглеродистые сплавы содержащие до 1,7 % углерода. Стали характеризуются следующими основными свойствами: физическими, механическими, технологическими и химическими.

Важными свойствами являются: температура плавления, теплоемкость, теплопроводность, коэффициент температурного расширения.

Температура плавления — температура, при которой сталь из твердого состояния переходит в жидкое. Температура плавления железа — 1535 °С, но на температуру плавления влияют примеси. Например, чугун с содержанием 4,3 % углерода плавится при 1130 °С. Теплоемкостью называется отношение количества тепла, сообщенного телу, к изменению температуры тела. Теплопроводностью называется количество теплоты, проходящее через площадь поперечного сечения в единицу времени.

Коэффициент температурного расширения — показатель относительного удлинения стального образца при повышении температуры на 1 °С.

Механические свойства сталей характеризуются пределом прочности, пределом текучести, относительным удлинением, твердостью и ударной вязкостью. Предел прочности, предел текучести, относительное удлинение определяются испытанием образца (круглого или прямоугольного сечения) на разрывной машине.

Максимальное напряжение, при котором удлинение испытуемого образца ( $\Delta Z$ ) пропорционально приложенной к нему нагрузке ( $P$ ), называется пределом пропорциональности. Деформации образца, в котором напряжения не превышают предела пропорциональности, являются упругими, т.е. при снятии нагрузки образец восстанавливает свою форму и размеры. При незначительном повышении нагрузки выше предела пропорциональности образец начинает вытягиваться (сталь «течет»), хотя нагрузка остается постоянной. Напряжение, при котором появляется текучесть стали, называется пределом текучести. Деформации, приобретенные образцом на этом этапе испытания, при снятии нагрузки не восстанавливаются, остаются, поэтому они называются остаточными или пластическими. При дальнейшем увеличении нагрузки наступает разрыв образца. Максимально достигнутое при этом напряжение в образце называется пределом прочности стали (временное сопротивление).

ние):

$$\sigma_{вр} = P F_0,$$

где  $\sigma_{вр}$  — временное сопротивление (предел прочности);

$P$  — нагрузка, соответствующая временному сопротивлению;

$F_0$  — первоначальная площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>.

Относительное удлинение образца при испытании на разрыв (растяжение) характеризует пластичность стали, т.е. способность приобретать значительные остаточные деформации без разрывов и трещин:

$$\delta = \left( \frac{L_1 - L_0}{L_0} \right) \cdot 100,$$

где  $\delta$  — относительное удлинение образца;

$L_0$  — первоначальная длина образца;

$L_1$  — длина образца после разрыва;

$L$  — абсолютное удлинение ( $L_1 - L_0 = L$ ).

Испытания на растяжение являются основными при оценке механических свойств сталей, применяемых в строительстве.

Твердость — способность стали сопротивляться вдавливанию в нее других, более твердых тел.

Ударная вязкость — свойство сталей противостоять динамическим (ударным) нагрузкам.

Среди химических свойств стали наиболее важным является коррозионная стойкость, которая характеризует способность сталей сопротивляться разрушающему действию окружающей среды. Технологические свойства показывают способность сталей к обработке их давлением, резанием, литьем, сваркой и др.

Термическая обработка улучшает физико-механические свойства стали. Различаются следующие виды термической обработки стали: закалка, отпуск, отжиг, нормализация.

Закалка заключается в нагреве стали до 800—900 °С и быстром ее охлаждении в воде или масле. Закалка увеличивает прочность и твердость стали, но уменьшает ударную вязкость.

Отпуск закаленной стали — медленный ее нагрев до 200—350 °С, выдержка при этой температуре и медленное охлаждение на воздухе. При отпуске снижается твердость стали, но увеличивается ударная вязкость.

Отжиг — нагрев стали до определенной температуры, выдержка и медленное охлаждение в печи. Отжиг применяется для снижения твердости и повышения вязкости стали.

Нормализация стали — разновидность отжига. Нормализация повышает твердость, прочность и ударную вязкость стали.

В зависимости от механической прочности все стали подразделяются на семь классов, которые обозначаются буквой С (сталь) и числами, показывающими в числителе временное сопротивление, а в знаменателе — предел текучести стали (в кН/см<sup>2</sup>). Кроме того, стали делятся на три группы:

- обычной прочности — включающие малоуглеродистые класса С 38/23;
- повышенной прочности — низколегированные стали классов С 44/29, С 46/33, С 52/40;
- стали высокой прочности — термоупрочненные, класса С 60/45, С 70/60, С 85/75.

Для конструкции мостов применяют различные марки сталей в зависимости от назначения моста (железнодорожный, автодорожный, пешеходный и др.), типа исполнения (обычный или северный), вида элемента (несущий или второстепенный), способа монтажных соединений (сварка, высокопрочные болты), вида и толщины проката и других особенностей. При расчетной температуре воздуха  $T_{min}$  до  $-40$  °С применяются конструкции обычного исполнения. При расчетной температуре воздуха  $T_{min}$  от  $-40$  °С до  $-50$  °С применяют конструкции северного исполнения типа «А», а для районов с  $T_{min}$   $-50$  °С — северного исполнения типа «Б».

## Сортамент прокатной стали

Мостовые конструкции изготавливают из горячекатаной стали, выпускаемой металлургическими заводами и удовлетворяющей требованиям ГОСТов и СНиП. Прокатка осуществляется в специальных прокатных станах, придающих металлу необходимый поперечный профиль. Перечень размеров прокатываемых профилей, установленный ГОСТом, называется сортаментом.

Прокатная сталь делится на листовую и фасонную (профильную) (рис. 7.1).

Мостовая сталь толщиной от 4 до 60 мм прокатывается между валками прокатного стана, поэтому она имеет неровные кромки. Ширина листов 1250—2600 мм, длина — до 4200 мм.

Широкополосная универсальная сталь прокатывается между четырьмя валками стана, имеет толщину 6—60 мм, ширину 200—1050 мм и длину от 5 до 12 м. Универсальная сталь не требует продольной резки и строжки, что снижает стоимость изготовления конструкций.

Уголки равнобокие и неравнобокие являются распространенными видами профильной прокатной стали. Равнобокие уголки прокатывают-

ся калибром от 40+40x3 до 250+2500x30 мм. В неравнобоких уголках одна полка в 1,5 раза шире другой; эти уголки прокатываются калибром от 50+32x3 до 250+160x20 мм. Длина уголков — до 19 м.

Двутавры бывают двух видов — обыкновенные и широкополочные. Обыкновенные двутавры изготавливают высотой от 100 до 700 мм, широкополочные — высотой до 1000 мм.

В сортаменте номер двутавра указывает его высоту в сантиметрах. Ширина полок обыкновенного двутавра составляет около 0,3 его высоты, а широкополочных — 0,4—0,6 высоты. Двутавры изготавливаются длиной: обыкновенные от 5 до 19 м, широкополосные до 24 м.

В сортаменте номер швеллера обозначает его высоту в см. Швеллеры прокатываются высотой от 5 до 40 см и длиной до 19 м. Кроме указанных видов проката, в конструкциях применяется полосовая, круглая и другая фасонная сталь.

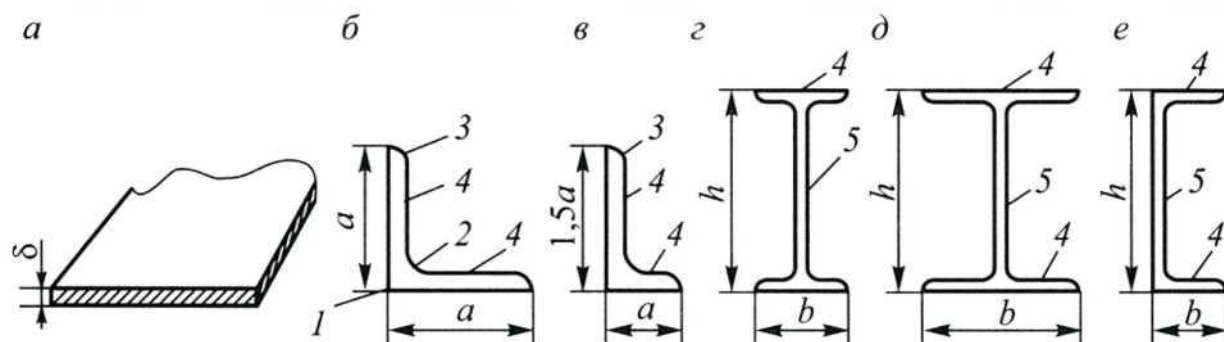


Рис. 7.1. Профили прокатной стали:

*a* — листовая сталь; *б* — равнобокий уголок; *в* — неравнобокий уголок; *г* — обыкновенный двутавр; *д* — широкополочный двутавр; *е* — швеллер; *1* — обухок; *2* — выкружка; *3* — кромка; *4* — полка; *5* — стенка; *a* — ширина полки; *b* — ширина полки швеллера; *8* — толщина листа; *h* — высота двутавра, швеллера

## Соединение элементов металлических пролетных строений

Мосты, построенные в различное время, отражают уровень инженерных знаний и опыта, накопленного к моменту их возведения. Мосты — сооружения долгосрочной эксплуатации, срок службы которых достигает 100 лет и более. В связи с этим на дорогах страны эксплуатируется немало металлических мостов, построенных в XIX—XX вв, которые, как правило, имеют клепаные пролетные строения.

*Соединение на заклепках.* До определенного времени самым распространенным в металлических мостах являлось соединение элементов на заклепках (рис. 7.2, 7.3). С 1930 г. в отечественном мостостроении стала применяться сварка. Используются и болтовые соединения на высокопрочных болтах. Сварка и появившиеся в 60-е годы особого вида высокопрочные болты сузили применение заклепочных соединений. При

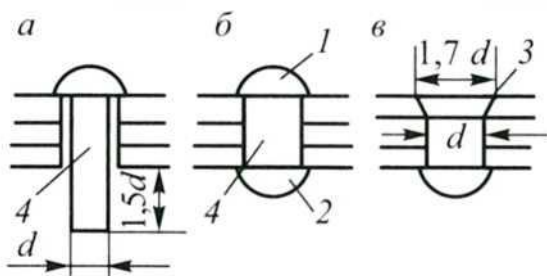


Рис. 7.2. Виды заклепок:  
*a* — до клепки; *б* — после клепки;  
*в* — с потайной головкой; 1 — закладная головка; 2 — замыкающая головка; 3 — потайная головка; 4 — стержень

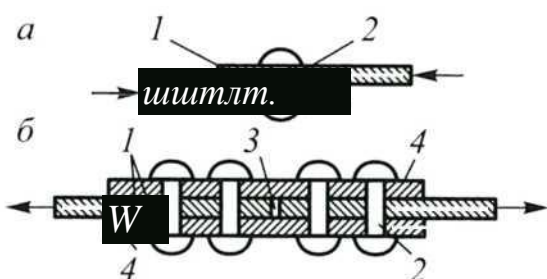


Рис. 7.3. Соединения на заклепках: *a* — односрезное соединение — соединение внахлестку; *б* — двухсрезное соединение — соединение встык с двумя накладками; 1 — срез; 2 — смятие; 3 — стык; 4 — накладка

всех способах задача состоит в том, чтобы не только соединить отдельные части, но и обеспечить передачу усилий от одного элемента другим (усилия в элементах мостов достигают нескольких сотен, даже тысяч килоньютонов).

Соединения включают требуемое число заклепок, болтов или сварочных швов, расположенных в целесообразном порядке. В заклепочном и болтовом соединениях усилия передают стержни, вставленные в отверстия элементов и снабженные по концам головками, которые препятствуют размыканию элементов.

Части клепаных конструкций соединяют заклепками с полукруглыми головками. Заклепки штампуют на заводах из круглой стали с головкой на одном конце стержня. В склепываемом пакете заводская головка называется закладной, а головка, образующаяся в результате клепки конца стержня, — замыкающей. Диаметр стержня заклепки в холодном состоянии должен быть на 1 мм меньше диаметра заклепочного



отверстия. В мостах обычно применяются отверстия диаметром 20, 23, 26 мм. Длина заклепки назначается равной толщине склепываемого пакета и части стержня, необходимой для образования замыкающей головки; при этом наибольшая полезная длина заклепки не должна превышать  $4,5 d$ . В конструкциях различают два вида заклепок: рабочие и связующие. Рабочие передают усилия от одной части элемента к другой, а связующие заклепки служат для соединения элемента. Заклепки, поставленные на заводе при изготовлении конструкции, называются заводскими, а поставленные при монтаже конструкции — монтажными. В зависимости от характера работы заклепочного шва соединения могут быть внахлестку или встык с одной или двумя накладками. Заклепки, соединяющие два листа или уголка внахлестку, называются односрезными. Если два листа соединены между собой встык, а стык перекрыт с обеих сторон накладками, через которые передаются усилия, то заклепки имеют две плоскости среза и называются двухсрезными.

Кроме работы «на срез», заклепки работают «на смятие». Происходит смятие стержня заклепки или стенки заклепочного отверстия в зависимости от того, какой из материалов (заклепки или листа) менее тверд.

Заклепка в горячем состоянии вкладывается в заклепочное отверстие и ее свободный конец расклепывается в замыкающую головку. При остывании заклепки стержень ее укорачивается, в результате обе головки плотно сжимают склепываемые элементы. В мостовых конструкциях заклепки размещаются в ряд или в шахматном порядке. Расстояние между двумя соседними заклепками называется шагом заклепок.

В уголках заклепки размещают так, чтобы головка заклепки полностью размещалась на полке, а до начала выкружки уголка и при клепке пневматическим молотком поддержка (обжимка) сохраняла нормальное (без наклона) положение.

*Соединение на высокопрочных болтах.* В стыках и узлах ферм при монтаже пролетных строений вместо монтажных заклепок устанавливают высокопрочные болты (рис. 7.4). Эти соединения передают усилия только силами трения, возникающими по контактными плоскостями соединяемых элементов, поэтому их называют фрикционными. Фрикционные соединения имеют простую конструкцию, сравнительно малую трудоемкость, меньшую (по сравнению с заклепочными) концентрацию

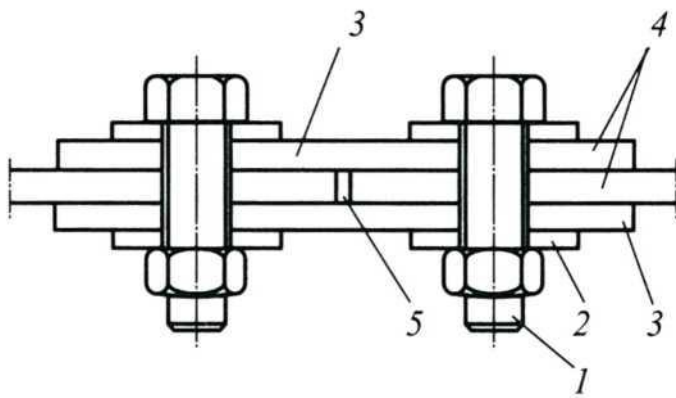


Рис. 7.4. Стык на высокопрочных болтах:  
 1 — болт; 2 — шайба; 3 — накладка;  
 4 — поверхности трения; 5 — стык

напряжений, лучшую работу на многократно повторяемую нагрузку, высокую надежность и поэтому являются основным видом монтажных соединений стальных мостовых конструкций. В этих соединениях болты подвергаются

большому тельному напряжению, и по соприкасающимся стям соединяемых в результате

предвари-

поверхно- элементов возникают большие силы трения, способные полностью передавать усилия, действующее в соединяемых элементах. Сильное обжатие высокопрочными болтами, исключает образование в соединениях щелей и неплотностей, что повышает эксплуатационные качества сооружений.

Высокопрочные болты изготавливают из стали марок 40Х, 38ХС с последующим термоупрочнением.

Болты свободно вставляются в монтажные отверстия, так как диаметр отверстий на 2—3 мм больше диаметра стержня болта. Для предохранения основного металла от смятия под гайки и головки болтов ставятся штампованные круглые шайбы диаметром 55 мм и толщиной 6 мм, изготовленные из Ст3 и подвергнутые цементации для увеличения их твердости.

*Соединения на обычных болтах.* Для соединения элементов мостового полотна, тротуаров, перил, смотровых приспособлений, а также для крепления опорных частей применяются обычные болты повышенной, нормальной и грубой точности. В болтах повышенной точности допуск в размере диаметра болта составляет  $0,4+0,6$  мм. В болтах нормальной и грубой точности допуск от 2 до 5 мм. В этих соединениях усилия передаются стержнями болтов, вызывая в них напряжения среза и смятия. Высокопрочные и обыкновенные болты располагают в соединениях возможно более компактно.

Расстояния между центрами соседних болтов должны быть: минимальное в любом направлении для высокопрочных болтов —  $2,5d$ , для обычных —  $3d$ ; максимальное в любом направлении в крайних рядах —  $7d$ , в средних рядах —  $24t$ , где  $t$  — толщина наиболее тонкой детали,

расположенной снаружи пакета.

Расстояния от центра болта до края элемента —  $1,5d$ .

*Сварные соединения.* По своему назначению сварные швы разделяются на рабочие и связующие. Рабочие швы воспринимают расчетные усилия. Связующие швы служат для соединения элементов и крепления конструктивных деталей (ребер жесткости, диафрагм и т.п.). Размеры связующих швов принимаются минимальными.

По протяженности швы могут быть сплошными и прерывистыми. Наиболее распространенным видом сварных швов является соединение встык. Применяют также соединения внахлестку, с накладками, в тавр (впритык).

При соединениях встык элементы соединяются своими торцами. В зависимости от толщины листов и подготовки кромок различаются следующие виды швов: бескосый, V-образный, X-образный, U-образный.

После обработки кромок под сварку зазор между свариваемыми элементами принимается 2—4 мм (рис. 7.5).

При сварке встык шов может располагаться перпендикулярно действующим силам — он называется прямым, или под углом, отличающимся от  $90^\circ$ , — такой шов называется косым. Соединение внахлестку осуществляется угловым или валиковым швом. Если шов располагается параллельно действующим силам, такой шов называется фланговым, а если перпендикулярно — лобовым (рис. 7.6, 7.7).

Соединения с накладками осуществляются валиковым швом. Они проще в исполнении, так как не требуют обработки кромок, но работают хуже, чем стыковые соединения.

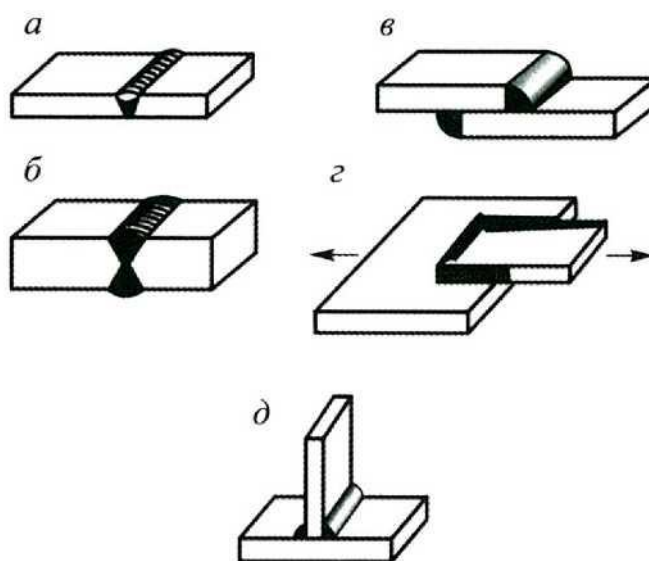


Рис. 7.5. Виды сварных швов: а, б — стыковые; в, г, д — угловые

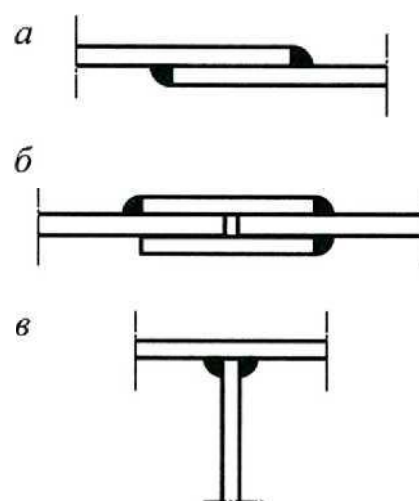


Рис. 7.6. Сварные соединения: а — внахлестку; б — с накладками; в — в тавр

Соединения впритык (в тавр) осуществляется угловыми швами.

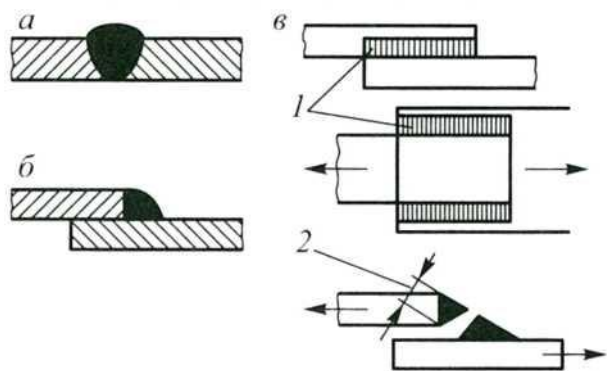


Рис. 7.7. Виды соединений элементов металлических мостов:

*а* — встык, v-образный шов; *б* — внахлестку; *в* — фланговый шов; *1* — фланговый шов; *2* — толщина флангового шва

Сварка элементов может проводиться автоматической, полуавтоматической или ручной электросваркой. Листы толщиной более 30 мм в вертикальном или наклонном положении свариваются электрошлаковым способом. Ручная сварка производится электродами с толстым покрытием (обмазкой) и только в труднодоступных местах или потолочных швах.

Применение электросварки снижает расход стали и трудоемкость изготовления конструкций мостов.

Изобретение электросварки российскими инженерами — учеными Николаем Николаевичем Бенардосом и Николаем Гавриловичем Славяновым — относится к 1885—1891 гг. Их изобретение сначала широкого применения не нашло. Использование электросварки в отечественном мостостроении началось в 30-е гг. XX в. Первая лаборатория электросварки в России была создана в 1925 г. во Владивостоке В.П. Володиным. Инициаторами внедрения электросварки в мостостроение были выдающиеся ученые в этой области академики Е.О. Патон и Г.П. Передерни. Е.О. Патон возглавил организованный на Украине в 1934 г. Институт электросварки. Он разработал научные основы сварки и проектирование сварных конструкций.

В 1932 г. на Калининской железной дороге был построен первый железнодорожный мост со сварными фермами пролетом 12 метров. Реконструированный по проекту Г.П. Передерия и архитектора А.В. Носкова мост лейтенанта Шмидта через Неву в Ленинграде стал первым цельносварным мостом в России. Старые чугунные пролетные строения моста были заменены сварными неразрезными балками коробчатого сечения шириной 1,2 м, высотой до 2,2 м и толщиной листов 16—53 мм. Схема разбивки балок на пролеты 35,2+41,3+44,8 м с каждой стороны разводного пролета, расположенного в середине реки. При реконструкции моста в 1939 г. в сопряжение элементов пролетного строения не было поставлено ни одной заклепки.

## Основные виды стальных пролетных строений

Стальные пролетные строения мостов имеют различные статические схемы и конструкции, способы соединения элементов, виды мостового полотна и другие особенности.

По статистическим расчетным схемам главных несущих элементов стальные пролетные строения бывают:

- балочные (разрезные, консольные, неразрезные) — (рис. 7.8);
- рамные (неразрезные, с наклонными стойками и др.) — (рис. 7.9);
- арочные (трех-, двухшарнирные и бесшарнирные) — (рис. 7.10);
- висячие (с гибким кабелем, шарнирной цепью и др.) — (рис. 7.11);
- вантовые;
- комбинированные (балка с аркой, балка с кабелем, вантовые и др.).

По виду металла пролетные строения бывают из углеродистой или низколегированной стали, обычного или северного исполнения.

По способу соединения элементов стальные пролетные строения делятся на клепаные, сварные, болтосварные, клепано-сварные (на заводе элементы изготавливают сварными, а на монтаже соединяют заклепками или болтами).

По уровню расположения проезжей части пролетные строения бывают: с ездой поверху, с ездой понизу, с ездой посередине, а также с двухъярусным расположением проезжей части. Балочные пролетные строения с ездой поверху имеют меньший расход стали, кроме того, применение таких конструкций снижает объем опор.

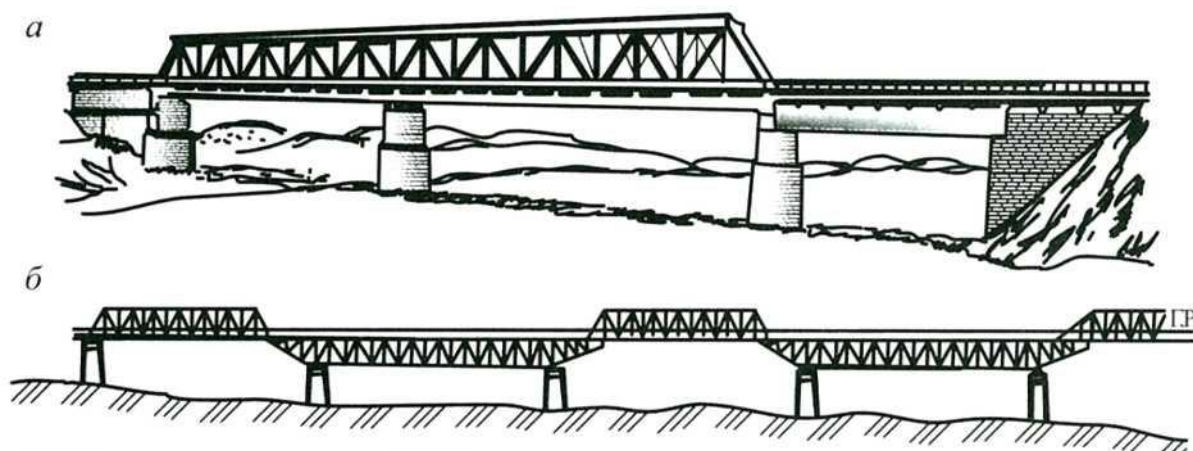


Рис. 7.8. Виды стальных мостов:

*a* — мост с двухпролетным неразрезным и разрезным однопролетным строением; *б* — мост с консольными строениями



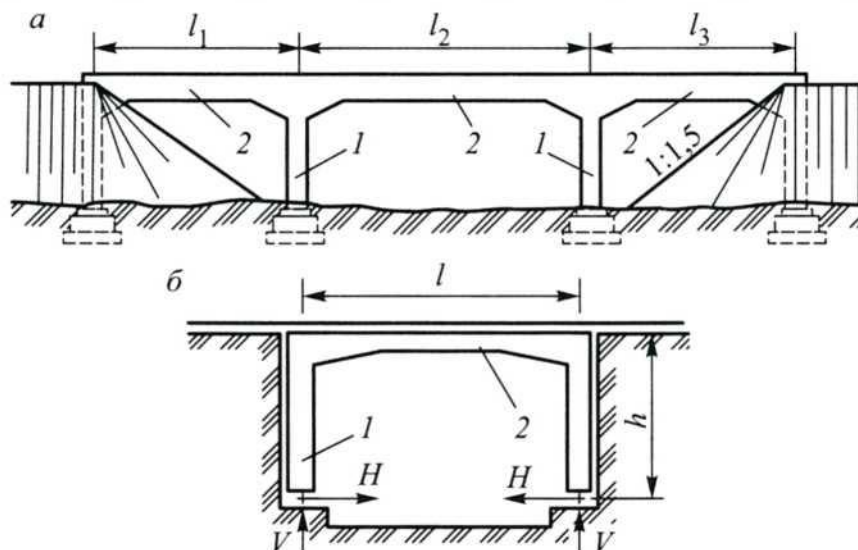


Рис. 7.9. Схемы рамных мостов:

*a* — рамный неразрезной трехпролетный мост; *б* — рамный однопролетный мост; 1 — стойки; 2 — ригель; *l* — пролет однопролетного рамного моста;  $l_1, l_2, l_3$  — пролеты многопролетного рамного моста; *h* — высота рамы; *H* — горизонтальная опорная реакция; *V* — вертикальная опорная реакция

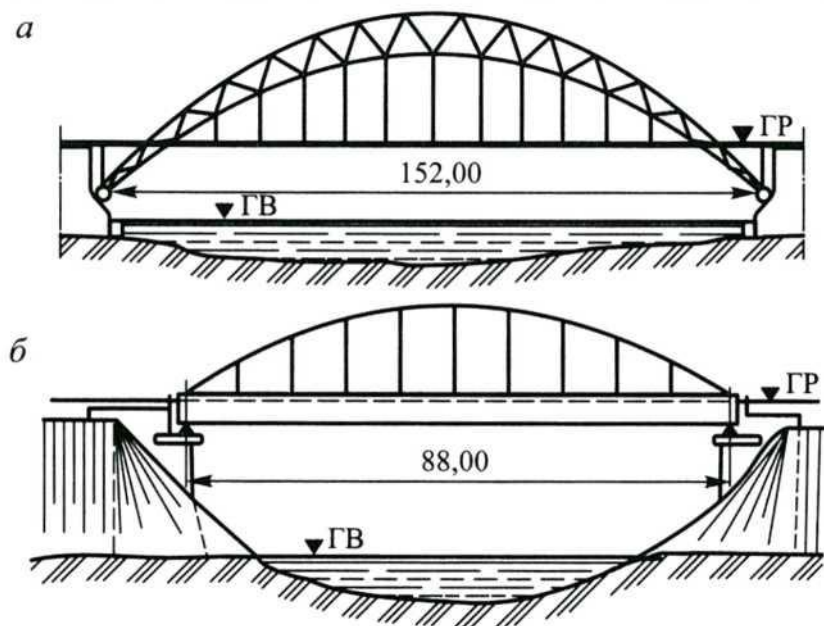


Рис. 7.10. Схемы арочных мостов:

*a* — с ездой посередине; *б* — с балкой жесткости

*Балочно-неразрезные пролетные строения.* Главной несущей частью этих пролетных строений являются многопролетные статически неопределимые сплошнотенчатые балки или стержневые фермы, опирающи-

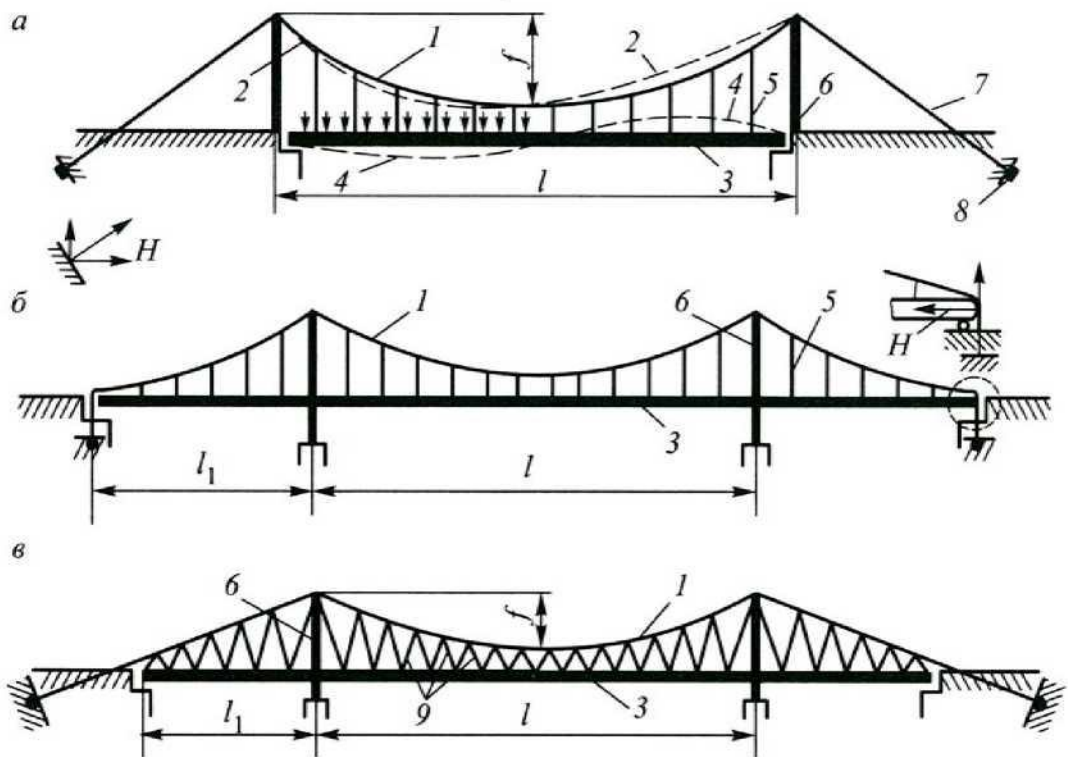


Рис. 7.11. Схемы висячих мостов:

*а* — с балкой жесткости; *б* — с закреплением кабелей в устоях; *в* — с наклонными подвесками; *1* — кабель; *2* — деформированное состояние кабеля при загрузке левого пролета; *3* — балка жесткости; *4* — деформированное состояние балки жесткости при загрузке полупролета; *5* — вертикальная подвеска; *6* — пилон; *7* — оттяжка; *8* — анкерное закрепление оттяжки; *9* — наклонные подвески

еся на одну шарнирно-неподвижную и две или более шарнирно-подвижные опорные части (рис. 7.12).

Преимуществом балочно-неразрезных пролетных строений по сравнению с разрезными являются: меньшая масса стали при больших пролетах, большая вертикальная и горизонтальная жесткость, уменьшение объема кладки опор, возможность навесной сборки без усиления пролетных строений. Экономическая эффективность балочно-неразрезных пролетных строений возрастает с увеличением постоянной нагрузки, т.е. с увеличением длины пролета. Неразрезными фермами перекрываются

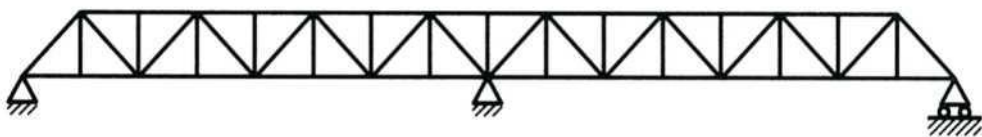


Рис. 7.12. Балочно-неразрезное пролетное строение пролеты до 300 м, но неразрезные фермы чувствительны к неравномер-



ным осадкам опор, поэтому они, как правило, не применяются при слабых грунтах.

*Балочно-консольные пролетные строения.* Главной несущей частью этих пролетных строений является многопролетные шарнирные статически определимые сплошные балки или фермы (рис. 7.13). Они состоят из подвесных и анкерных пролетных строений с одной или двумя консолями. Пролет, включающий подвесное пролетное строение и консоли анкерного, называется сборным. В зависимости от числа консолей различаются мосты одноконсольные и двухконсольные. Консольные фермы сохраняют преимущества неразрезных, но, будучи разрезными, менее чувствительны к неравномерным осадкам опор, поэтому могут применяться при любых грунтах основания. Величина пролетов, перекрываемых консольными фермами, достигает 220 м. Недостатком консольных ферм является меньшая жесткость, чем у неразрезных.

*Арочные мосты* состоят из металлических арочных пролетных строений и массивных опор (рис. 7.14). Арочные мосты бывают со сплошными и сквозными арками. Сплошные арки наиболее просты по конфигурации и удобны для сборки. Сквозные арочные фермы состоят из криволинейных поясов и раскосной решетки. Мостовое полотно и балки проезжей части имеют конструкцию, подобную балочным пролетным строениям. По конструкции арочные фермы могут быть: серповидного очертания, с параллельными поясами, порталные арочные фермы. Стрела подъема арочных ферм составляет от  $1/4$  до  $1/6$  пролета, а высота от  $1/14$  до  $1/16$  пролета. Элементы арочных ферм имеют коробчатые и Н-образные сечения, как у балочных ферм.

Основными преимуществами арочных пролетных строений по сравнению с балочными являются следующие: меньший расход стали при больших пролетах, большая вертикальная жесткость, лучшие архитек-

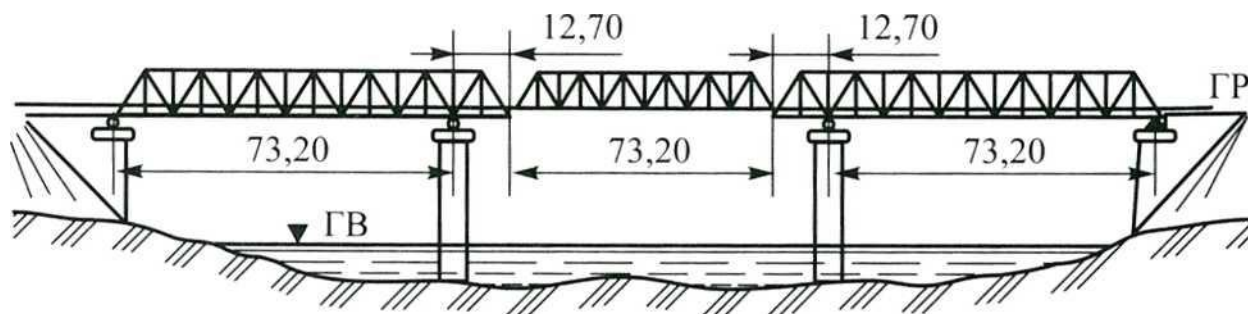


Рис. 7.13. Балочно-консольные пролетные строения

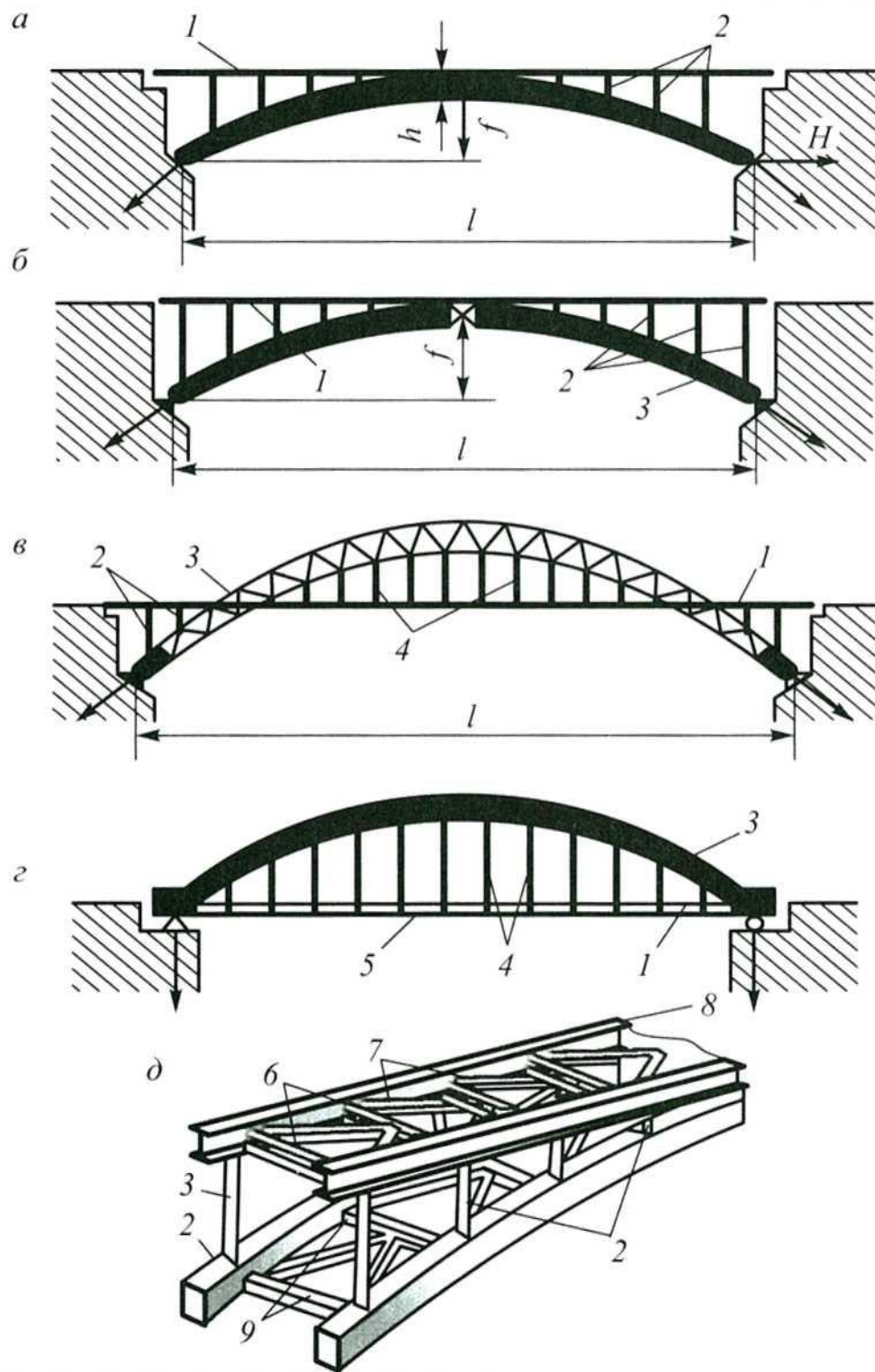


Рис. 7.14. Основные системы металлических арочных мостов:  
*а* — арочный двухшарнирный однопролетный мост с ездой поверху; *б* — трехшарнирный мост с ездой поверху; *в* — арочный мост с ездой посередине; *г* — арка с жесткой затяжкой; *д* — деталь конструкции арки; *1* — конструкция проезжей части; *2* — надарочные стойки; *3* — арка; *4* — подвески; *5* — затяжка; *6* — поперечные балки; *7* — связи в уровне проезжей части; *8* — продольная балка; *9* — связи вдоль арок (нижние связи) турные качества. Недостатками являются: сложность унификации и ти-

пизации криволинейных арочных конструкций, увеличение объема кладки опор, необходимость устройства более сложных и дорогих фундаментов, воспринимающих, кроме вертикального давления, горизонтальный распор арок.

В *висячих мостах* главным несущим элементом служат гибкие цепи (или кабели), перекинутые через высокие стойки (пилоны) и закрепленные концами в анкерных опорах. К цепям подвешивается проезжая часть. Эти мосты применяются в основном на автомобильных дорогах. Висячие мосты обладают малой жесткостью, так как при перемещении нагрузки вдоль моста цепь меняет свою геометрическую форму. Для уменьшения деформативности гибких висячих мостов применяются балки жесткости, наклонные оттяжки (ванты), идущие прямо от верха пилонов и поддерживающие крайние панели проезжей части, жесткое крепление цепи (троса) в центре пролета.

*Байтовые мосты* представляют собой геометрически неизменяемую систему, в которой проезжая часть поддерживается при помощи наклонных вант (стальных канатов), спускающихся с пилона. В вантовых мостах все ванты работают на растяжение. Жесткость вантовых мостов обусловлена предварительным напряжением вант.

Байтовые и висячие мосты бывают с одним или двумя вертикальными или наклонными пилонами в виде П-образных, А-образных и других рам или отдельно стоящих стоек из стали или железобетона.

Достоинствами вантовых и висячих систем являются: рациональное использование высокопрочных сталей в растянутых элементах, способность перекрывать очень большие пролеты, высокая экономичность при больших пролетах, возможность навесной сборки, высокие архитектурные качества.

По способу устройства мостового полотна пролетные строения стальных мостов бывают: на деревянных мостовых брусках, металлических поперечинах, сплошном железобетонном основании, на балласте, на ортотропной плите.

*Основные части пролетных строений.* Стальные пролетные строения мостов (рис. 7.15) состоят из следующих основных частей:

- главных несущих элементов (балок, арок, ферм, и др.);
- продольных и поперечных связей между главными несущими элементами.

Главные несущие элементы пролетных строений представляют собой балки, фермы, рамы, арки и другие конструкции различных стати-

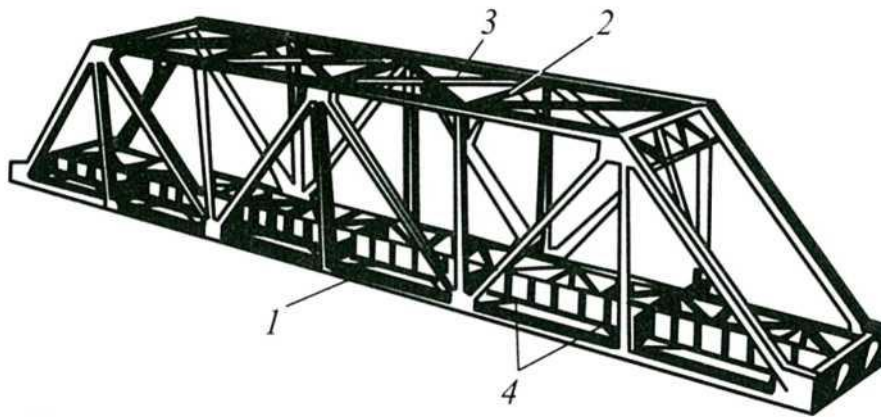


Рис. 7.15. Основные части пролетного строения:

1 — главный несущий элемент-ферма; 2 — распорка верхних продольных и поперечных связей; 3 — диагональ верхних продольных связей; 4 — нижние продольные связи

ческих схем. Они перекрывают пространство между опорами моста, воспринимают постоянную и временную подвижную нагрузку от проезжей части и передают ее опорам.

*Продольные и поперечные связи* устраивают между главными несущими элементами. Они располагаются в плоскостях верхнего и нижнего поясов главных элементов. Связи обеспечивают пространственную неизменяемость, жесткость и устойчивость (рис. 7.16, 7.17).

*Проезжая часть* металлических железнодорожных мостов устраивается на продольных и поперечных балках пролетных строений (рис. 7.18). Высота продольных и поперечных балок в современных конструкциях назначается одинаковой. Продольные балки прикрепляются к поперечным, а поперечные балки — к главным несущим элементам пролетных строений. Таким образом, эти балки проезжей части воспринимают нагрузку от мостового полотна и передают ее главным несущим элементам. Продольные балки двутаврового сечения состоят из вертикального листа, поясных уголков и верхнего горизонтального лис-

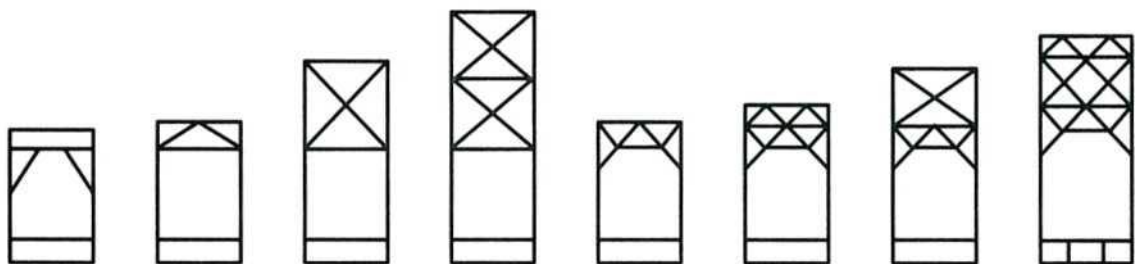


Рис. 7.16. Схемы поперечных связей между фермами

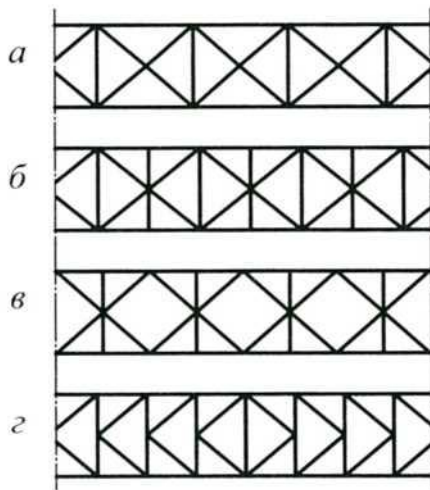


Рис. 7.17. Схемы продольных связей между фермами: *a* — крестовая; *б* — с дополнительными распорками; *в* — ромбическая; *г* — полураскосная

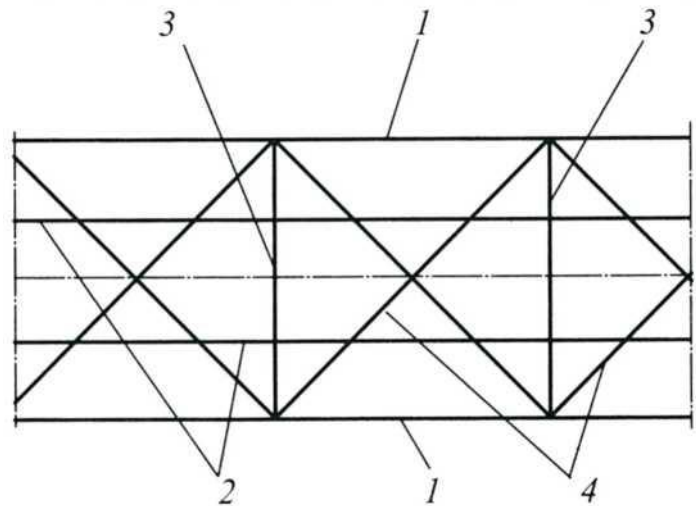


Рис. 7.18. Проезжая часть металлической фермы:  
*1* — нижний пояс фермы; *2* — продольные балки; *3* — поперечные балки; *4* — тормозные связи

та. Поперечные балки имеют двутавровые сечения, состоящие из вертикального листа, поясных уголков и горизонтальных листов.

*Смотровые приспособления* представляют собой лестницы, трапы с перилами, катучие тележки, подъемные люльки и другие устройства для осмотра, очистки, окраски, ремонта любой части стального пролетного строения.

## Конструкция пролетных строений со сплошными балками

Типовые пролетные строения со сплошными балками применяются в железнодорожных мостах для пролетов от 18 до 55 м. Главные балки имеют двутавровое сечение высотой равной  $1/11-1/13$  их расчетной длины. Высота балки влияет на соотношение масс поясов и стенки. Чем больше высота балки, тем меньше масса ее поясов и больше масса стенки. Стенка стальной балки — вертикальный лист толщиной не менее 12 мм. Для устойчивости против выпучивания стенки укрепляются вертикальными поперечными ребрами жесткости, которые устанавливаются на опорах и на расстоянии друг от друга не более  $2L_{ст}$ , где  $L_{ст}$  — высота стенки. Толщина ребер жесткости принимается не менее 10 мм, а ширина — не более 15 толщин ребра. Ребра жесткости привариваются с обеих сторон стенки балки симметрично сплошными двухсторонними швами. Торцы ребер жесткости приваривают к поясам (рис. 7.19, 7.20).



*a*

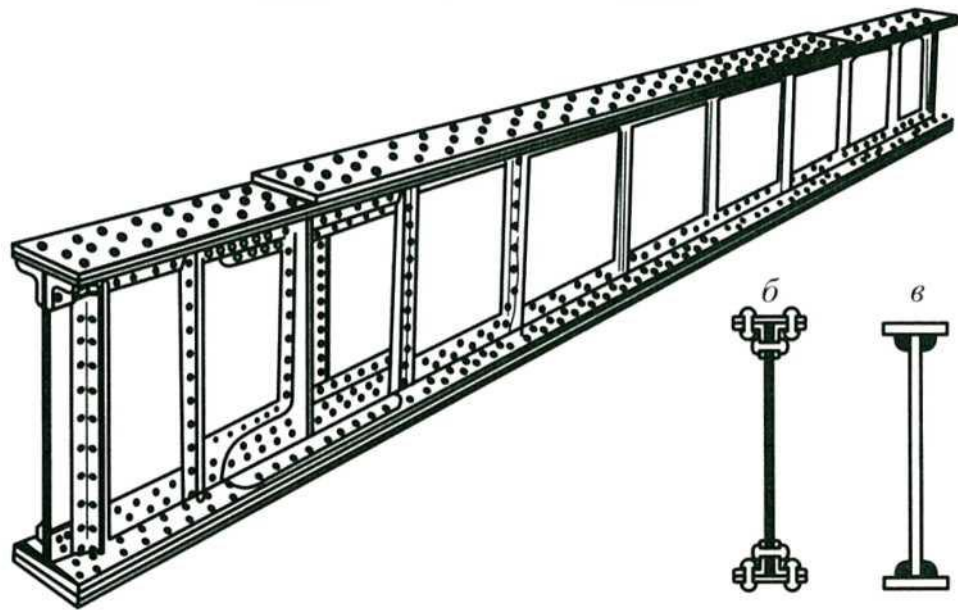


Рис. 7.19. Балка со сплошной стенкой:  
*a* — общий вид; *б* — сечение клепаной балки; *в* — сечение сварной балки

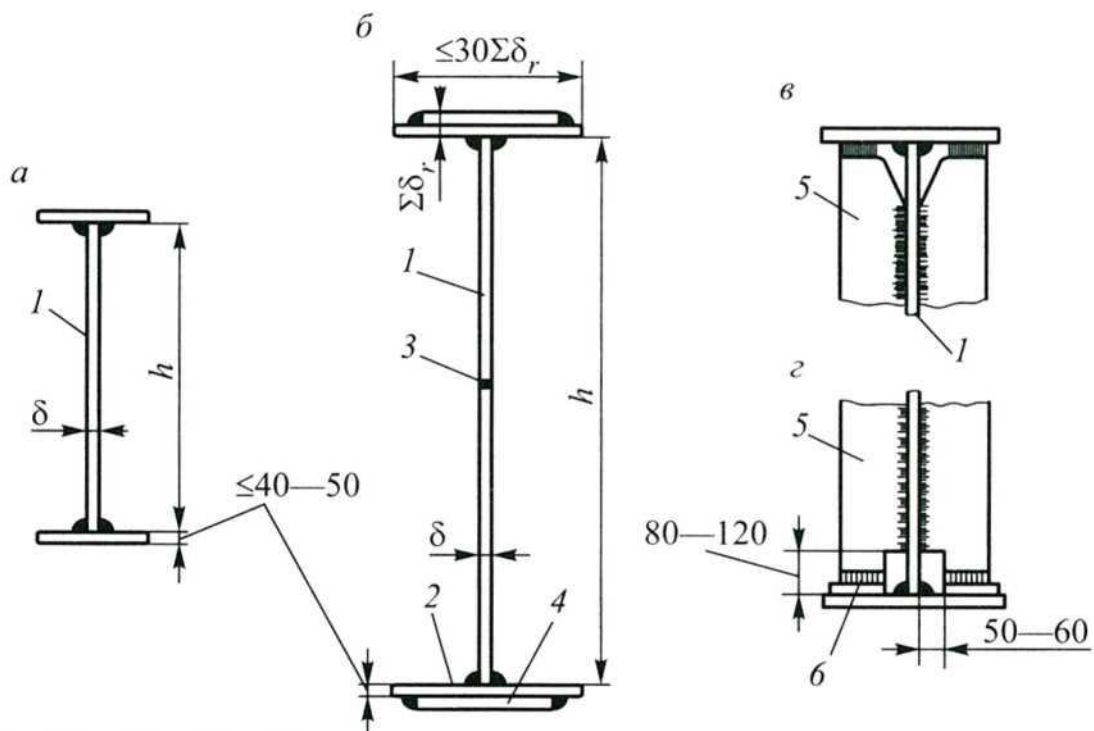


Рис. 7.20. Конструкция сварных двутавровых балок:  
*a* — балка с одним поясным листом; *б* — балка с двумя поясными листами; *в* — деталь соединения вертикальной стенки и поясного листа с вертикальным ребром жесткости; 1 — вертикальная стенка; 2 — поясной лист; 3 — продольный стык вертикальной стенки; 4 — второй поясной лист; 5 — вертикальное ребро жесткости; 6 — прокладка, приваренная только к ребру жесткости  
Пояса балок (горизонтальные элементы поперечного сечения сплошной балки) имеют ширину не более 240 мм. Пояса состоят из одного

листа толщиной 60, 50, 40 мм или из двух листов, отличающихся по ширине не более чем на 100 мм. Расстояние между осями главных балок поперек оси пути определяется условиями устойчивости пролетного строения против опрокидывания. Обычно это расстояние принимается не менее  $1/16$ — $1/20$  пролета.

Продольные связи располагаются в уровнях верхних и нижних поясов балок. Распорки и диагонали связей выполняются из отдельных уголков и прикрепляются с помощью уголков и фасонки высокопрочными болтами. Поперечные связи располагаются в опорных сечениях и между ними. Элементы связей выполняются также из одиночных уголков и прикрепляются к уширенным ребрам жесткости высокопрочными болтами.

Смотровые устройства состоят из вертикальной лестницы с площадкой для спуска на опору и хода между главными балками на нижних продольных связях. Типовые пролетные строения имеют расчетные пролеты 18,2; 23,0; 27,0; 33,6 м, расстояние между осями главных балок 2,0 м. Основные элементы этих пролетных строений изготавливаются из низколегированных сталей в обычном и северном исполнении.

Важным их преимуществом являются максимальная унификация элементов и деталей, что снижает трудоемкость и стоимость изготовления. Типовые пролетные строения целиком перевозятся по железным дорогам и устанавливаются на опоры консольными кранами, продольной подвижкой или другими способами.

## **Конструкции пролетных строений со сквозными фермами**

В металлических мостах средних и больших пролетов, как правило, применяют пролетные строения со сквозными фермами и массивные опоры. Конструктивно сквозная ферма имеет главные фермы, продольные и поперечные связи. Проезжая часть может располагаться понизу или поверху пролетного строения. Главные фермы из линейных элементов имеют различные очертания. Они изготавливаются из высокопрочных низколегированных сталей с болтосварными соединениями.

Главные фермы стальных пролетных строений представляют собой плоские геометрически неизменяемые стержневые конструкции, состоящие из элементов нижнего и верхнего поясов и элементов решетки: раскосов, стоек, подвесок. Пояса и раскосы являются основными конструктивными элементами фермы; стойки, подвески, шпренгели, работающие только на местную нагрузку, называются дополнительными. Пересечения раскосов, стоек, и подвесок с поясами

ферм называются узлами ферм, а горизонтальное расстояние между центрами смежных узлов называется панелью (рис. 7.21).

По очертанию поясов фермы могут быть с параллельными поясами или с полигональным верхним поясом. В мостах наибольшее распространение получили фермы с параллельными поясами и простой треугольной решеткой. Применяются также фермы с полигональным верхним поясом и треугольной решеткой. Для уменьшения длины панели в фермах больших пролетов используются шпренгели (понизу). Для больших пролетов используются двухрешетчатые (ромбические) фермы.

Фермы с параллельными поясами имеют большую на 2—5 % массу стали, чем фермы с полигональными поясами, но меньшую трудоемкость и стоимость изготовления и монтажа. Решетка ферм состоит из наклонных элементов — раскосов, работающих на растяжение и сжатие, вертикальных элементов — стоек, работающих на сжатие, и подвесок, работающих на растяжение; для уменьшения длины элементов применяются стяжки и распорки.

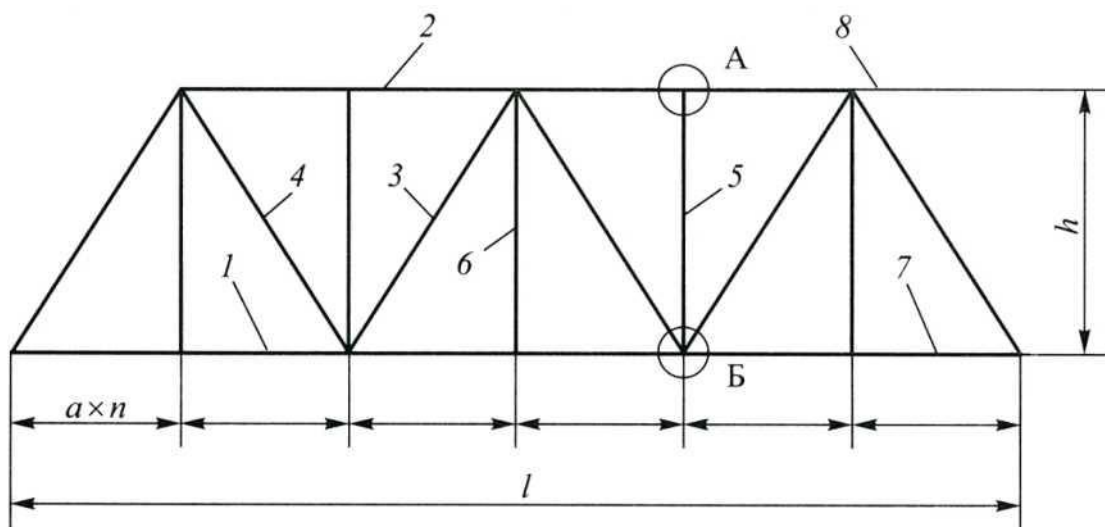


Рис. 7.21. Основные конструктивные элементы фермы:

1 — нижний пояс; 2 — верхний пояс; 3 — сжатый (восходящий) раскос; 4 — растянутый (нисходящий) раскос; 5 — стойка; 6 — подвеска; 7 — панель нижнего пояса; 8 — панель верхнего пояса; А — узел верхнего пояса фермы; Б — узел нижнего пояса фермы;  $a$  — длина панели;  $n$  — количество панелей;  $l$  — длина пролетного строения;  $h$  — высота фермы

Главные фермы имеют раскосную, ромбическую, треугольную, шпренгельную и другие решетки (рис. 7.22, 7.23). Раскосные решетки состоят из нисходящих, растянутых раскосов и сжатых стоек или восходящих преимущественно сжатых раскосов и растянутых подвесок, для больших пролетов применяется полураскосная и многораскосная решетки. Ромбическая решетка состоит из перекрещивающихся раско-



сов и одного горизонтального или вертикального элемента, обеспечивающего геометрическую неизменяемость фермы. Треугольная решетка представляет собой восходящие и нисходящие раскосы со стойками или со стойками и подвесками. Шпренгельная решетка состоит из основной раскосной или треугольной решетки и шпренгелей, расположенных у верхнего или нижнего пояса. Могут применяться фермы безраскосные, имеющие между поясами только вертикальные элементы — стойки. Выбор вида решетки фермы производится путем сравнения расхода стали, количества элементов и узлов, трудоемкости, стоимости и других технико-экономических показателей.

В старых мостах применялись многорешетчатые и многораскосные фермы, фермы с крестовой решеткой, полураскосные с параболическим верхним поясом, раскосные фермы со шпренгелями поверху.

Под воздействием вертикальной нагрузки в балочных разрезных сквозных фермах верхние пояса работают на сжатие, а нижние на растяжение. Величина этих усилий возрастает с увеличением расчетного пролета и уменьшается с увеличением высоты фермы. Раскосы, восходящие от опор к середине пролета, испытывают сжатие, а нисходящие — растяжение. Величина усилий в раскосе зависит от угла наклона раскоса к вертикали (чем меньше угол, тем меньше усилия в раскосе) и от очер-

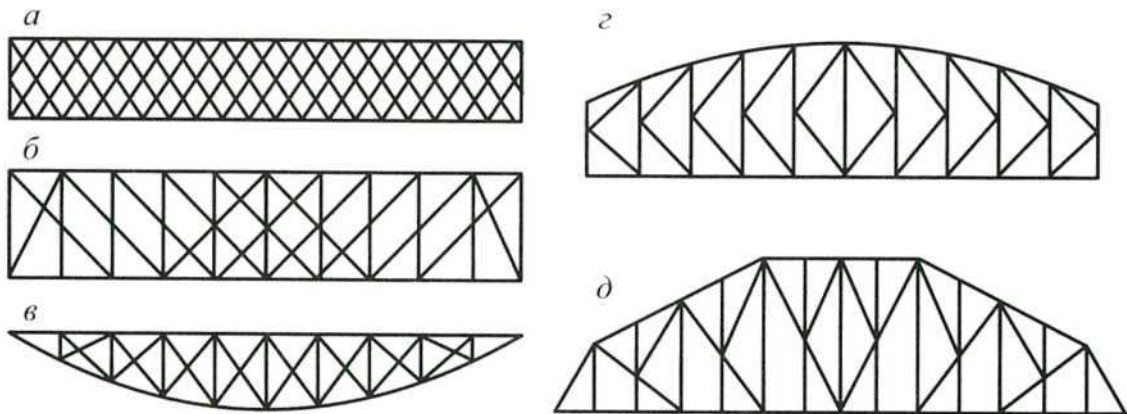


Рис. 7.22. Решетка ферм в старых мостах:

*a* — четырехрешетчатая; *б* — двухраскосная; *в* — крестовая; *г* — полураскосная; *д* — с полигональным верхним поясом и верхними шпренгелями

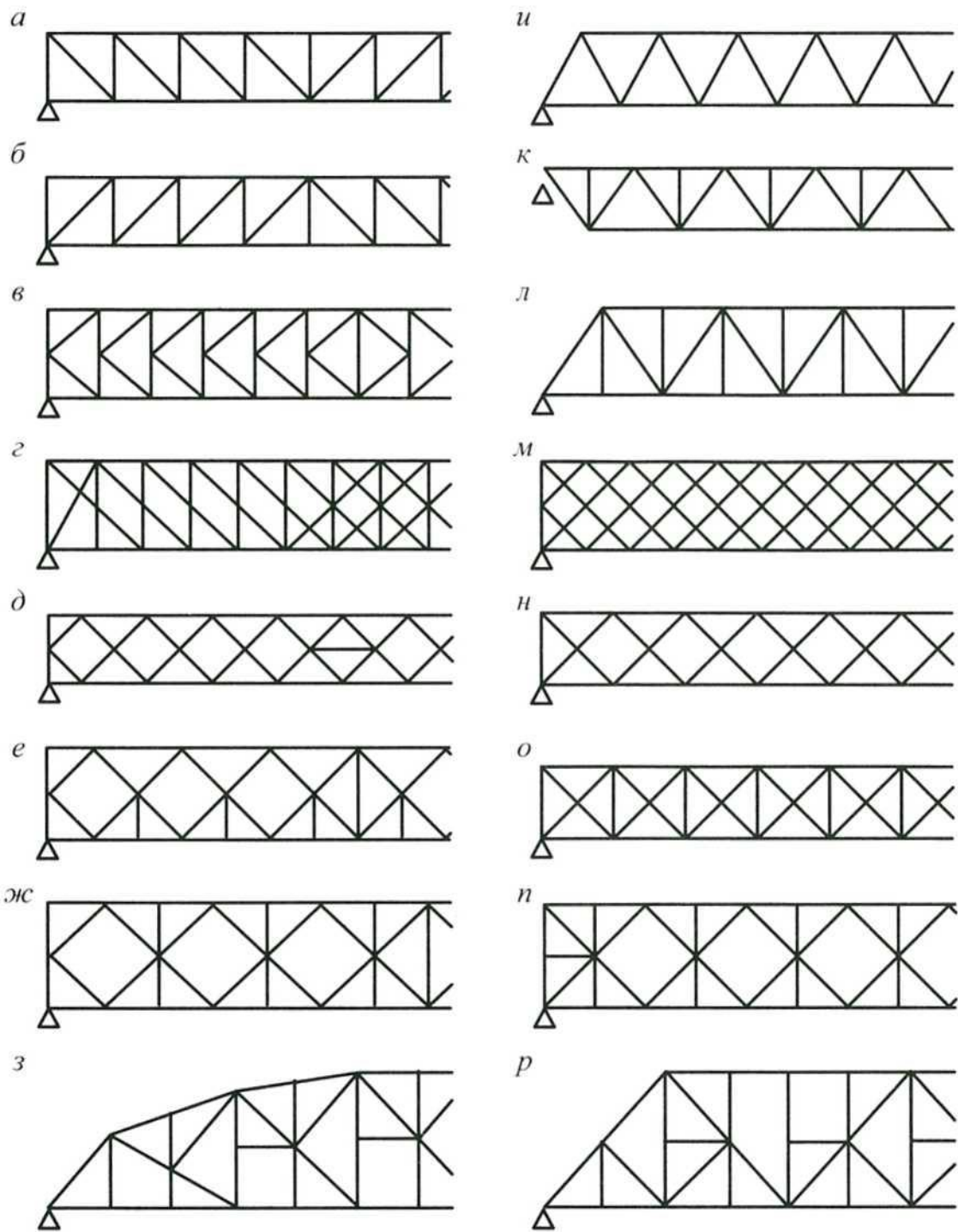


Рис. 7.23. Схемы решеток ферм:

*а, б* — фермы с раскосными решетками; *в* — полураскосная решетка; *г* — многораскосная решетка; *д, е, ж* — фермы с ромбической решеткой; *з* — ферма с полигональным верхним поясом и шпренгельной решеткой; *и* — треугольная решетка; *к* — треугольная решетка со стойками; *л* — треугольная решетка со стойками и подвеской; *м* — многорешетчатая ферма; *н* — двухрешетчатая ферма; *о* — крестовая решетка; *п* — двойная треугольная с полуподвесками и полустойками; *р* — ферма с параллельными поясами и шпренгельной решеткой

тания поясов. В фермах с полигональным очертанием усилия в раскосах

меньше, чем в ферме с параллельными поясам.

Подвески и стойки служат для уменьшения свободной длины панели. Стойками называются элементы, работающие на сжатие, подвесками — элементы, работающие на растяжение.

Для главных ферм малых пролетов наилучшей является простая треугольная решетка.

Для средних пролетов, до 110 м включительно, — треугольная решетка с подвесками и стойками. Для больших пролетов, более 120 м, применяется треугольная решетка с подвесками и шпренгелями у нижнего пояса, позволяющими сохранить оптимальную длину панели и угол наклона раскосов при большой высоте ферм. Для уменьшения свободной длины сжатых панелей верхнего пояса подвески шпренгеля продолжаются до верхнего пояса, а для уменьшения свободной длины стоек и подвесок ставятся горизонтальные стяжки.

Основными расчетными размерами главных ферм являются: расчетный пролет, высота ферм, длина панели.

Расчетным пролетом ферм называется расстояние между центрами опорных узлов по горизонтали. Для пролетных строений железнодорожных мостов он принимается от 33 до 110 м, кратным 11 м, а также 127,4; 144,8; 158,4 м. Для возможности установки пролетных строений на существующие опоры необходимый расчетный пролет получается путем изменения длины крайних панелей ферм.

Высота главных ферм — это расстояние между осями горизонтальных узлов в сечении нижнего и верхнего пояса по вертикали. Высота главной фермы назначается из условия минимального расхода стали, требуемой жесткости фермы и габарита приближения строений. Высота фермы обычно составляет  $1/5$ — $1/7$  расчетного пролета. В железнодорожных мостах с ездой понизу высота главных ферм принимается не менее 8,5 м для беспрепятственного прохождения подвижного состава.

Длина панели фермы — это расстояние между центрами соседних узлов поясов. Длина панели влияет на расход стали для главных ферм, балок проезжей части и связей между главными фермами. Увеличение длины панели уменьшает количество элементов и узлов фермы, но увеличивает пролеты продольных балок, массу стали проезжей части. Длина панелей принимается 5,5—11 м.

Угол наклона раскосов влияет на конструкцию узлов фермы. Наивыгоднейшим углом наклона раскосов к горизонтали является  $40$ — $50^\circ$ . При значительном отклонении угла наклона от  $45^\circ$  увеличиваются размеры узловых фасонных листов и расход стали.

Высота ферм, длина панели, угол наклона раскосов взаимно связаны. Расстояние между осями ферм диктуется требованиями горизонтальной жесткости и устойчивости против опрокидывания пролетного

строения, а при езде понизу и габаритом приближения строений. По условию горизонтальной жесткости расстояние между осями ферм должно быть не менее  $1/20$ — $1/25$  пролета при езде понизу и не менее  $1/16$ — $1/20$  при езде поверху, при этом горизонтальные колебания пролетных строений под проходящими поездами не опасны. По условию габарита, для однопутных железнодорожных пролетных строений с ездой понизу расстояние между осями ферм должно быть не менее 5,5 м, а для двухпутных — не менее 9,6 м. Для повышения уровня унификации, улучшения технологии изготовления и монтажа, снижения трудоемкости и стоимости главные фермы близких пролетов принимаются одинаковых систем, высоты ферм и длины панели.

Так, например, типовые главные фермы пролетами 88 и 110 м имеют параллельные пояса, треугольную решетку с подвесками и стойками, одинаковую высоту 15 м, длину панели 11 м и расстояние между фермами 5,8 м.

Элементы ферм представляют собой прямолинейные стержни, воспринимающие большие продольные усилия и поэтому имеющие значительные площади поперечных сечений. В современных пролетных строениях наиболее применимыми являются сечения коробчатой и Н-образной формы (рис. 7.24, 7.25).

Коробчатые сечения состоят из двух вертикальных и двух горизонтальных листов, жестко соединенных сварными швами, вертикальные листы являются основными и более толстыми, чем горизонтальные. Коробчатые сечения имеют рациональное распределение металла, большую жесткость при изгибе и кручении. Они экономичны по расходу стали, менее подвержены коррозии, но сложны в изготовлении. Коробчатые сечения применяются как для поясов ферм, так и для сжатых раскосов.

Коробчатые элементы из сплошных листов герметизируются установкой по их концам сплошных поперечных диафрагм, препятствующих проникновению внутрь коробок влаги, снега и грязи. Применение герметичных элементов сокращает площадь окраски и замедляет коррозию, что снижает эксплуатационные расходы и увеличивает срок службы фермы.

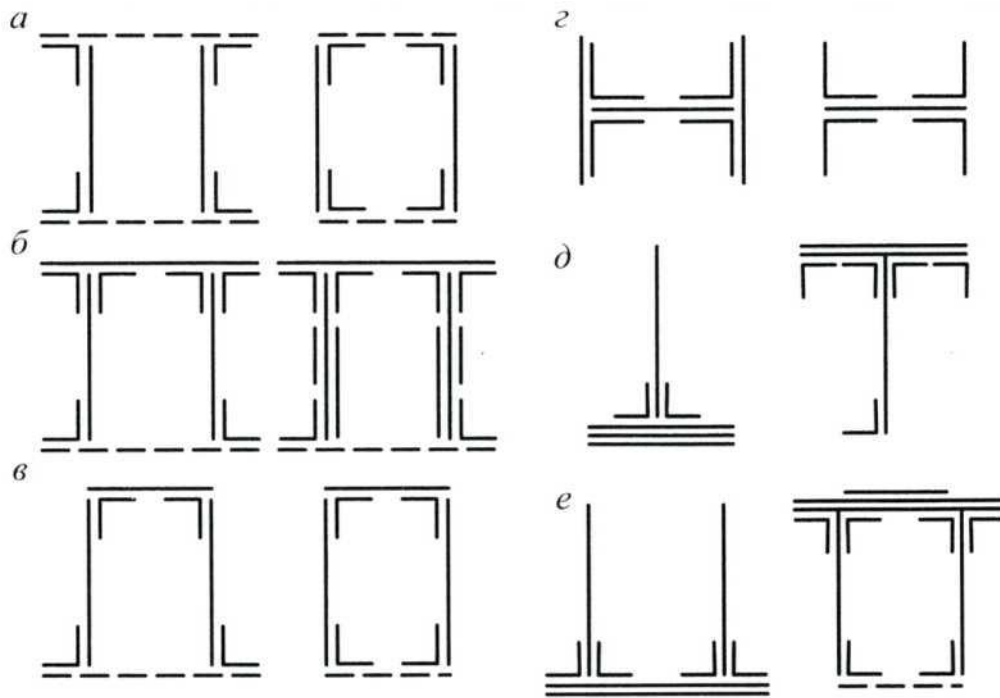


Рис. 7.24. Сечение поясов сквозных ферм:

*a* — швеллерное; *б* — коробчатое; *в* — П-образное и швеллерное; *г* — двутавровое Н-образное; *д* — одностенчатое; *е* — коробчатое

Н-образные сечения состоят из двух вертикальных и одного горизонтального листа, соединенных сваркой. Преимуществом их является простая открытая конструкция, удобная для изготовления: трудоемкость их изготовления примерно в 1,5 раза меньше, чем коробчатых.

Недостатки Н-образных сечений состоят в: возможности загрязнения и необходимости частой очистки и окраски горизонтальных элементов; опасности быстрой коррозии стали из-за скапливающихся в них

воды, снега, грязи, несмотря на дренажные отверстия в листах

диаметром 50 мм; меньшей жесткости относительно горизонтальной оси. Поэтому Н-образные сечения применяются для наклонных и вертикальных элементов, воспринимающих небольшие нагрузки.

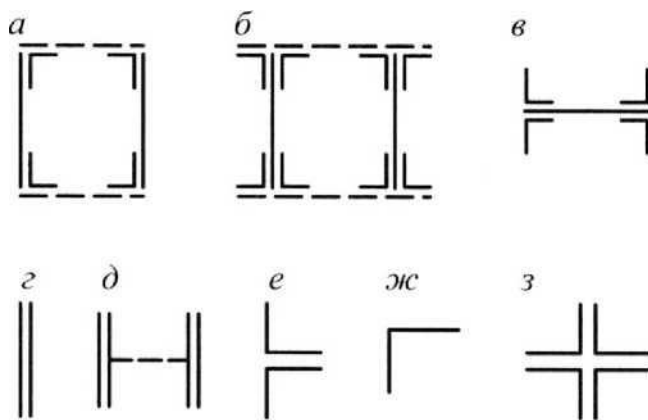


Рис. 7.25. Сечение решетки ферм: *a, б* — швеллерные; *в* — двутавровое; *г, д* — плоские; *е, ж, з* — уголковые

Размеры сечения элементов назначаются в соответствии с действующими усилиями, маркой стали, требованиями технологии изготовления, монтажа и эксплуатации. Высота сечения





мость деталей.

Конструкция узлов ферм должна быть простой и удобной для монтажа, предотвращать возможность скапливания воды и грязи.

*Связи между фермами.* Главные фермы стальных пролетных строений соединяются в плоскостях верхних и нижних поясов продольными связями, а в плоскостях раскосов, подвесок или стоек — поперечными связями. Продольные связи представляют собой фермы, поясами которых являются пояса главных ферм. Решетка связей может быть треугольной, ромбической, крестовой, полураскосной и других систем. Элементы связей устраиваются из прокатных или сварных уголков, тавров, двутавров, или швеллеров. Форма и размеры сечений элементов связей принимаются в зависимости от усилий и свободной длины элементов. При небольших усилиях и длине сечения принимают уголковые или тавровые, при больших усилиях и длине сечения двутавровые.

Тормозные рамы, устраиваемые в железнодорожных пролетных строениях, передают продольные тормозные усилия от балок проезжей части на пояса ферм и далее на неподвижные опорные части. Тормозные рамы располагаются посередине пролета. Рамы образуются из диагональных связей и распорок между продольными балками или из диагональных продольных связей и дополнительных раскосов.

Поперечные связи между главными фермами располагаются в вертикальных плоскостях стоек и подвесок ферм или в наклонных плоскостях промежуточных раскосов через 11—12 м.

Портальные рамы передают ветровую и другие поперечные нагрузки с верхних продольных связей на опоры. Они располагаются по концам пролетных строений в плоскостях опорных раскосов или стоек или первых подвесок главных ферм.

## **Эксплуатация металлических мостов**

Надзор за элементами пролетных строений имеет своей целью своевременно обнаружить появление неисправностей: трещин в основном металле или в сварных швах, ослабление заклепок, искривление элементов, коррозии металла и других дефектов. Трещины в металле обнаруживаются визуальным осмотром, а в необходимых случаях с применением лупы.

Признаками, указывающими на наличие трещин в элементах, являются характерные полосы ржавчины, выступающие на поверхности металла по краю трещины, наличие ржавых потеков. Окраска в месте образования трещины трескается, шелушится. Трещины, значительные по длине, перекрываются накладками на высокопрочных болтах или заклепках. Все дефекты в металлических частях в виде трещин, расслоений

металла, местных погнутостей, вмятин, надрывов должны быть исправлены немедленно или в плановом порядке в зависимости от серьезности дефекта и влияния его на безопасность движения. Сварные соединения элементов подлежат тщательному осмотру. Перед осмотром сварных швов и околошовной зоны нужно очистить поверхность до металла и рассмотреть через лупу. Коррозия металлических конструкций является результатом электрохимических процессов, возникающих под действием на металл жидкостей, проводящих электрический ток. В металлических пролетных строениях коррозия происходит в тех местах, где задерживается влага и нет достаточного проветривания. Поэтому все эти места нужно очищать от грязи, сора и чаще подкрашивать. Все элементы металлических пролетных строений периодически должны очищаться. Эта трудоемкая операция механизмуется и производится сжатым воздухом с применением пескоструйных аппаратов. При малом объеме эта работа производится вручную (скребками, металлическими щетками). Для защиты от коррозии пролетных строений они окрашиваются. Сроки повторной окраски устанавливаются в зависимости от состояния старой окраски. Элементы, плохо проветриваемые и наиболее подверженные ржавлению, окрашиваются чаще других. Для окраски применяют масляные краски на натуральной олифе: свинцовые белила, сурик, цинковые белила, железный сурик и др. На грузонапряженных линиях элементы, сильно подверженные ржавлению, защищаются от коррозии посредством металлизации (покрытие металлической пленкой) с последующей окраской. Окраска производится механизированным способом с помощью краскораспылителей. Окраска небольших поверхностей производится вручную кистями. Пролетные строения окрашиваются с подвесных подмостей, люлек и других приспособлений, обеспечивающих безопасность работ. Не допускается окраска по сырым поверхностям и при температуре ниже +5 °С.

Ремонт металлических конструкций заключается в постановке накладок, правке погнутых элементов, выправке опорных частей. Когда грузоподъемность пролетных строений оказывается ниже обращаемой подвижной нагрузки, производится их усиление. Усиление пролетных строений может выполняться за счет увеличения площади поперечного сечения элемента; устройства дополнительных ферм, балок или раскосов, чтобы передать на них часть нагрузки; изменения системы ферм посредством превращения разрезных ферм в неразрезные; устройства дополнительных опор, уменьшающих расчетный пролет, и других мероприятий. Непосредственно влияющее на безопасность движения мостовое полотно должно содержаться в безукоризненном состоянии. При осмотре рельсового пути на мосту проверяется состояние рельсов и креплений и выверяется путь по



шаблону и уровню. Ось рельсового пути на мосту должна, как правило, совпадать с осью пролетного строения, с целью равномерной (без перегрузок) работы пролетного строения под поездами. Величина отклонения между осями (эксцентриситет) допускается не более 5 см на прямых участках пути и не более 3 см в кривых.