

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОСТЫ

Железобетон — материал для искусственных сооружений

Железобетон представляет собой искусственный строительный материал, состоящий из бетона и стали, работающих совместно. Необходимая прочность бетона, его плотность, морозостойкость и долговечность обеспечиваются соответствующим подбором состава бетона. Прочность и плотность бетона зависят от количества цемента и водоцементного отношения В/Ц. Количество цемента на 1 м³ бетона должно быть не менее 250 кг, а водоцементное отношение не выше 0,6—0,65. Бетон в своем составе содержит активные и инертные составляющие. К активным относятся вяжущие вещества (цемент) и вода. Инертными составляющими являются заполнители — песок и щебень или гравий.

По плотности бетоны подразделяются на особо тяжелые — более 2500 кг/м³, тяжелые — 1800—2500 кг/м³, легкие — 500—1800 кг/м³ и особо легкие — менее 500 кг/м³.

По назначению бетоны подразделяются на конструкционные — для бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений; гидротехнические — для сооружений, подверженных непосредственному действию воды; дорожные — для устройства дорожных и аэродромных покрытий; специальные — химически и жаростойкие, декоративные; особо тяжелые — для радиационной защиты и др.

Для несущих конструкций мостов применяется тяжелый бетон классов с В15 по В55. При твердении бетона на воздухе он уменьшается в объеме — испытывает усадку. Особенно сильна усадка в течение первого года твердения, далее она постепенно затухает. Наличие арматуры в бетоне задерживает усадку и уменьшает ее примерно в 1,5 раза.

Кроме усадки, бетон обладает ползучестью, т.е. способностью под влиянием длительно действующих нагрузок наращивать деформации; бетон как бы течет. Наличие арматуры в бетоне препятствует развитию ползучести. В железобетонных конструкциях, работающих на изгиб, верхняя зона поперечного сечения работает на сжатие, а нижняя — на растяжение. В конструкциях с обычной арматурой в стадии эксплуатации в растянутой зоне возникают деформации, превышающие предельную растяжимость бетона и приводящие к образованию трещин. Это может привести к ускоренной коррозии арматуры. Чтобы этого не допустить, размер предельно допустимого раскрытия трещин ограничивается. При этом не удастся использовать высокопрочную сталь и получить более экономичную и легкую железобетонную конструкцию. В тех слу-

чаях, когда раскрытие трещин оказывается больше предельного значения, следует в проектировании переходить к конструкциям из предварительно напряженного бетона, которые имеют целый ряд преимуществ и дают возможность получать большое разнообразие форм и использовать материалы повышенной прочности (рис. 6.1).

Принцип работы предварительно напряженного железобетона отличается от принципа работы обычного железобетона. В обычном железобетоне бетон растянутой зоны нужен в основном для защиты стальной арматуры. Роль стальной арматуры в конструкциях из предварительно напряженного железобетона заключается в том, чтобы зону растянутого бетона подвергать постоянному сжатию. Второй функцией предварительно напряженной арматуры является восприятие растягивающих усилий при нагрузках, близких к разрушающим. В этой стадии предварительно напряженная арматура работает как и в конструкциях из обычного железобетона. Предварительно напряженный железобетон, работающий в эксплуатационной стадии в пределах упругости, — полностью однородный материал. Физико-механические свойства бетона не зависят от предварительного его обжатия. Вместе с тем применение предварительно напряженных конструкций позволяет получить экономию стали и бетона. Экономия металла в 1,5—2,5 раза достигается за счет применения высокопрочной стали, а экономия бетона — за счет уменьшения главных растягивающих напряжений. Для создания предварительного обжатия бетона применяется проволочная или стержневая арматура с высоким временным сопротивлением (до 1000 мПа).

По назначению (рис. 6.2) арматура подразделяется на:

- рабочую, воспринимающую внутренние усилия в элементах;
- распределительную, укладываемую перпендикулярно стержням рабочей арматуры и обеспечивающую равномерное распределение нагрузки на рабочие стержни;
- монтажную, служащую для образования жесткого каркаса арматуры.

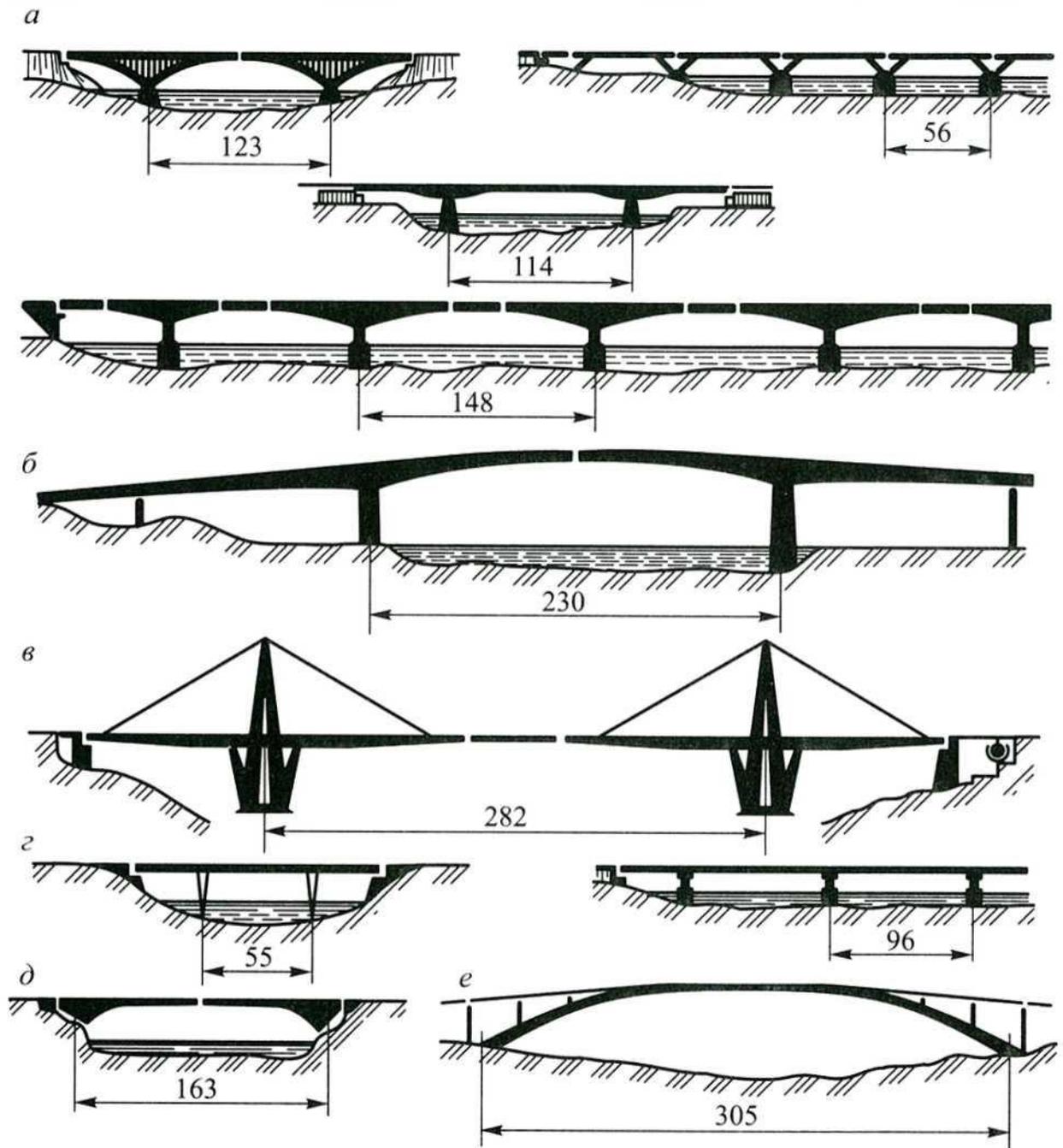


Рис. 6.1. Основные системы современных предварительно напряженных железобетонных мостов:

a — в СССР; *б* — в Японии; *в* — в Ливии; *г* — во Франции; *д* — в Италии; *е* — в Австралии (размеры даны для наибольших из перекрытых пролетов данной статической системы моста)

В железобетонных конструкциях используются углеродистые конструкционные стали с содержанием углерода не более 0,8 %; они подразделяются на обыкновенного качества и качественные стали. В зависимости от гарантируемых свойств стали обыкновенного качества подраз-

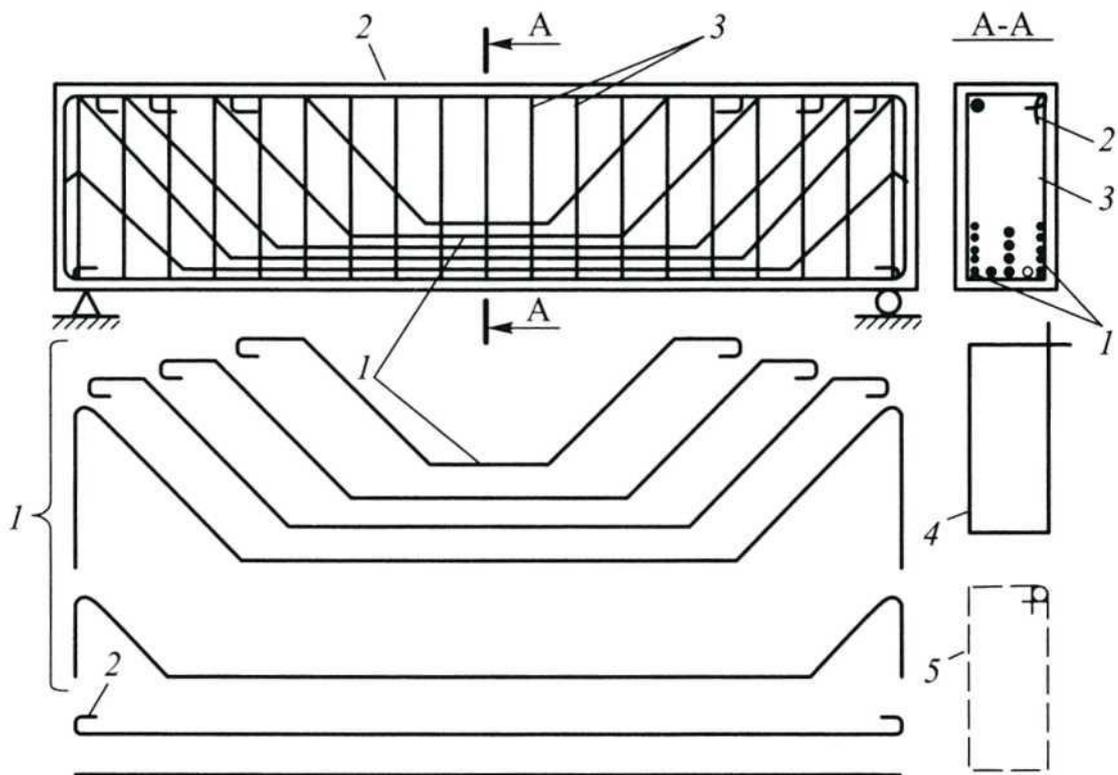


Рис. 6.2. Армирование балок:

1 — рабочая арматура; 2 — монтажная арматура; 3 — распределительная арматура; 4 — хомут в заготовке; 5 — хомут в конструкции

деляются на три группы (ГОСТ 380—94). Группа А — стали без уточнения их химического состава. Они обозначаются буквами Ст и цифрами 1, 2, 3, ..., 6 (Ст1, Ст2, Ст3, ..., Ст6).

Группа Б — стали с гарантируемым химическим составом. В обозначении марки стали впереди ставится буква «Б» (БСт1кп, БСт2кп, БСт3, БСт6), чем выше число, тем больше в стали углерода.

Группа В — стали повышенного качества, в обозначении марки вводится буква «В» (ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт5). Стали группы А используются тогда, когда не предполагается последующая обработка давлением, сваркой или термообработкой. Стали групп «Б» и «В» применяются в тех случаях, когда при производстве изделий используется сварка, термическая обработка, горячая формовка.

Арматурная сталь периодического профиля представляет собой круглые профили с двумя продольными ребрами и поперечными выступами, идущими по однозаходной винтовой линии. Для профилей $d=6$ мм допускаются выступы, идущие по однозаходной винтовой линии, а для $d=8$ мм — по двухзаходной винтовой линии.

Арматурная сталь классов А — I (А240) и А — II (А300) d до 12 мм и класса А — III (А400) диаметром до 10 мм выпускается в мотках или стержнях, больших диаметров — в стержнях. Арматурная сталь классов

А — IV (А600), А — V (А800) и А VI (А1000) всех размеров изготавливается в стержнях диаметром 6 и 8 мм или в мотках. Стержни изготавливают длиной от 6 до 12 м, по согласованию с потребителем допускается изготовление стержней от 5 до 25 м (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Технические требования		
Класс арматурной стали	Диаметр профиля, мм	Марка стали
А — I (240)	6—40	СТЗкп, СТЗпс, СТЗсп
А — II (А300)	10—40 40—80	СТ5сп, СТ5пс 18Г2с
Ас — II (Ас300)	10—32 (36—40)	10 ГТ
А — III (А400)	6—40 6—22	354ГС, 25Г2с 32Г2Рпс
А — IV (А600)	10—18 (6—8) 10—32 (36—40)	80С 20ХГ2Ц
А — V (А800)	(6—8) 10—32 (36—40)	23Х2Г2Т
А — VI (А1000)	10—22	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г

Для монтажной арматуры допускается применение стали марки ниже Ст3.

В предварительно напряженных конструкциях для напрягаемой арматуры применяют:

- мощные арматурные пучки из стальной круглой холодноотянутой высокопрочной проволоки диаметром от 3 до 10 мм;
- стальная проволока периодического профиля диаметром от 2 до 8 мм;
- семипроволочные стальные пряди диаметром от 6 до 15 мм;
- стержни периодического профиля из низколегированной стали марок 20ХГ2Ц и 30ХГ2С диаметром от 12 до 32 мм.

Ненапрягаемая арматура в растянутой зоне конструкций может размещаться одиночными стержнями, пучками по 2—3 стержня и в несколько рядов по вертикали. Расстояние в свету между одиночными стержнями или пучками стержней должно быть не менее 5 см.

Проволочная арматура делится на арматурную проволоку и проволочные изделия. Арматурная проволока может быть класса В-I, холод-

нотянутая, низкоуглеродистая для ненапрягаемых конструкций и класса В-II углеродистая для напрягаемой арматуры, диаметром 3—8 мм. Арматурные проволочные изделия выпускаются в виде нераскручивающихся стальных прядей стальных арматурных канатов, арматурных сеток и др. Арматурная проволока поставляется в мотках.

Хомуты, устанавливаемые по расчету или по конструктивным соображениям, вместе с продольными стержнями образуют каркас, обеспечивающий проектное положение рабочей арматуры.

Концы хомутов закрепляют на рабочей или монтажной арматуре. В изгибаемых элементах расстояние между хомутами не должно быть более 50 см. Каждый хомут в изгибаемых элементах должен охватывать в одном ряду не более пяти растянутых стержней и не более трех сжатых стержней.

При анкеровке арматуры в конструкциях из обычного железобетона все рабочие стержни гладкой растянутой арматуры снабжаются концевыми полукруглыми крюками с внутренним диаметром не менее 2,5 диаметра стержня. Концы отогнутых гладких стержней, заведенные в сжатую зону конструкции, а также концы сжатых стержней и концы стержней периодического профиля, обрываемых в растянутой зоне, допускается снабжать прямым крюком, отгиб прямого участка крюка должен быть не менее трех диаметров стержня.

Защитный слой бетона ненапрягаемой рабочей арматуры со стороны каждой из наружных поверхностей должен быть не менее 3 и не более 5 см (в свету). Хомуты и нерабочая арматура отставляются от поверхности конструкции не менее чем на 1,5 см.

Конструкции железобетонных мостов.

Мостовое полотно

Конструкция пролетного строения моста в значительной степени зависит от выбранной статической схемы сооружения. Основными для железобетонных мостов являются: балочные (разрозные и неразрозные), рамные, арочные, висячие и вантовые. Балочные мосты состоят из железобетонных пролетных строений и опор (рис. 6.3). Конструкция

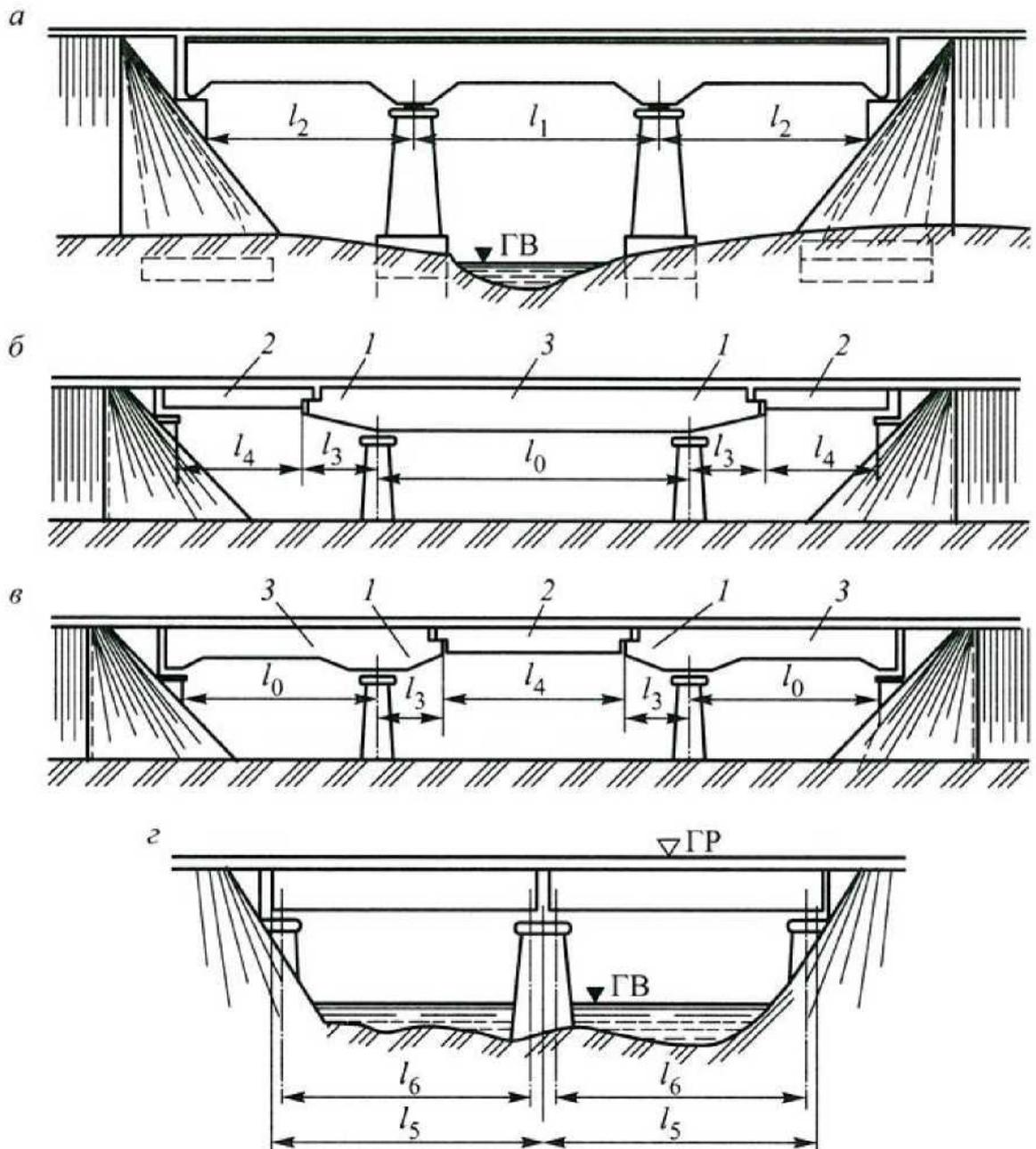


Рис. 6.3. Схемы балочных мостов:

а — неразрезной мост; *б, в* — консольные мосты; *г* — разрезной мост; *1* — консоль; *2* — подвесное пролетное строение; *3* — анкерный пролет; l_0 — анкерный пролет консольного моста; l_1, l_2 — пролеты неразрезного моста; l_3 — длина консоли; l_4 — длина подвесного пролета; l_5 — длина пролета разрезного моста; l_6 — расчетная длина пролета

опор — промежуточных и устоев — рассмотрена ранее. На первом этапе сооружения железобетонных мостов имели большое распространение балочные мосты с обычным армированием: разрезные с плитными и ребристыми пролетными строениями, неразрезные и консольные.

Плитные пролетные строения простейшей конструкции применяются для перекрытия малых пролетов от 3 до 6 м железнодорожных мос-

тов (рис. 6.4). По условиям возведения плитные пролетные строения могут быть монолитными или секционными (сборными из готовых блоков). Преимущества плитных строений — простота конструкции и возведения как в монолитном, так и в сборном варианте. В плитном пролетном строении рабочая (растянутая) арматура диаметром не менее 12 мм состоит из продольных стержней периодического профиля, расположенных равномерно по ширине поперечного сечения плиты. По мере уменьшения изгибающего момента от середины пролета к опорам, часть рабочих стержней отгибается вверх под углом 45° (косые стержни) и закрепляется в сжатой зоне плиты. Места пересечения рабочей, распределительной и монтажной арматуры свариваются или перевязываются проволокой. В настоящее время почти все плитные пролетные строения изготавливают индустриальным способом, перевозят блоками на железнодорожных платформах и устанавливают кранами. Основным недостатком плитных пролетных строений является повышенный расход бетона и арматуры. Так как бетон нижней растянутой зоны в работе не участвует, то поперечные размеры плитных пролетных строений внизу можно уменьшить, что и предусматривается в некоторых проектах.

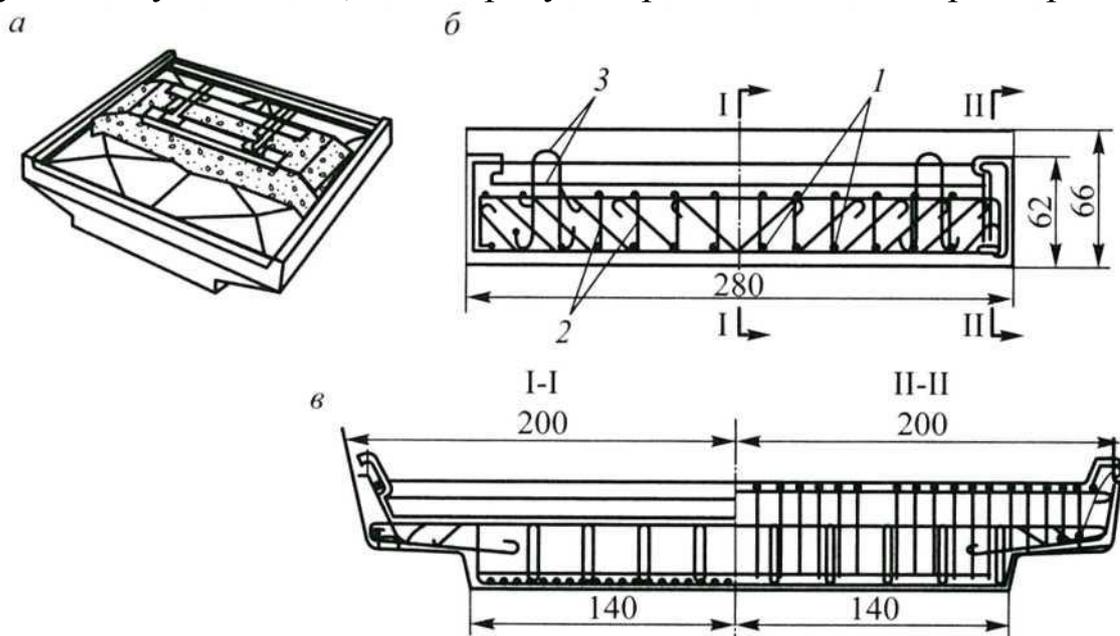


Рис. 6.4. Плитное пролетное строение:

а — общий вид; *б* — продольный разрез; *в* — поперечные разрезы; *1* — рабочая арматура; *2* — распределительная арматура; *3* — монтажная арматура

Мосты с ребристыми пролетными строениями применяются при пролетах в свету более 6 м, когда плитные пролетные строения становятся неэкономичными (рис. 6.5). Так как бетон в нижней растянутой зоне плиты не работает, а только увеличивает ее вес, ребристые пролетные строения состоят из ребер (балок), соединенных

между собой поверху общей плитой проезжей части. Нижняя часть ребер работает на растяжение, а верхняя часть ребер и плита проезжей части — на сжатие. Растянутая рабочая арматура располагается в нижней части ребер. По мере уменьшения изгибающего момента стержни рабочей арматуры изгибаются из нижней зоны в верхнюю сжатую зону. Ребра соединяют между собой поперечными балками (диафрагмами), расположенными через каждые 4—6 м. Диафрагмы обеспечивают равномерную нагрузку на ребра и препятствуют их кручению, т.е. обеспечивают работу ребер как единой конструкции. Отгибы про-

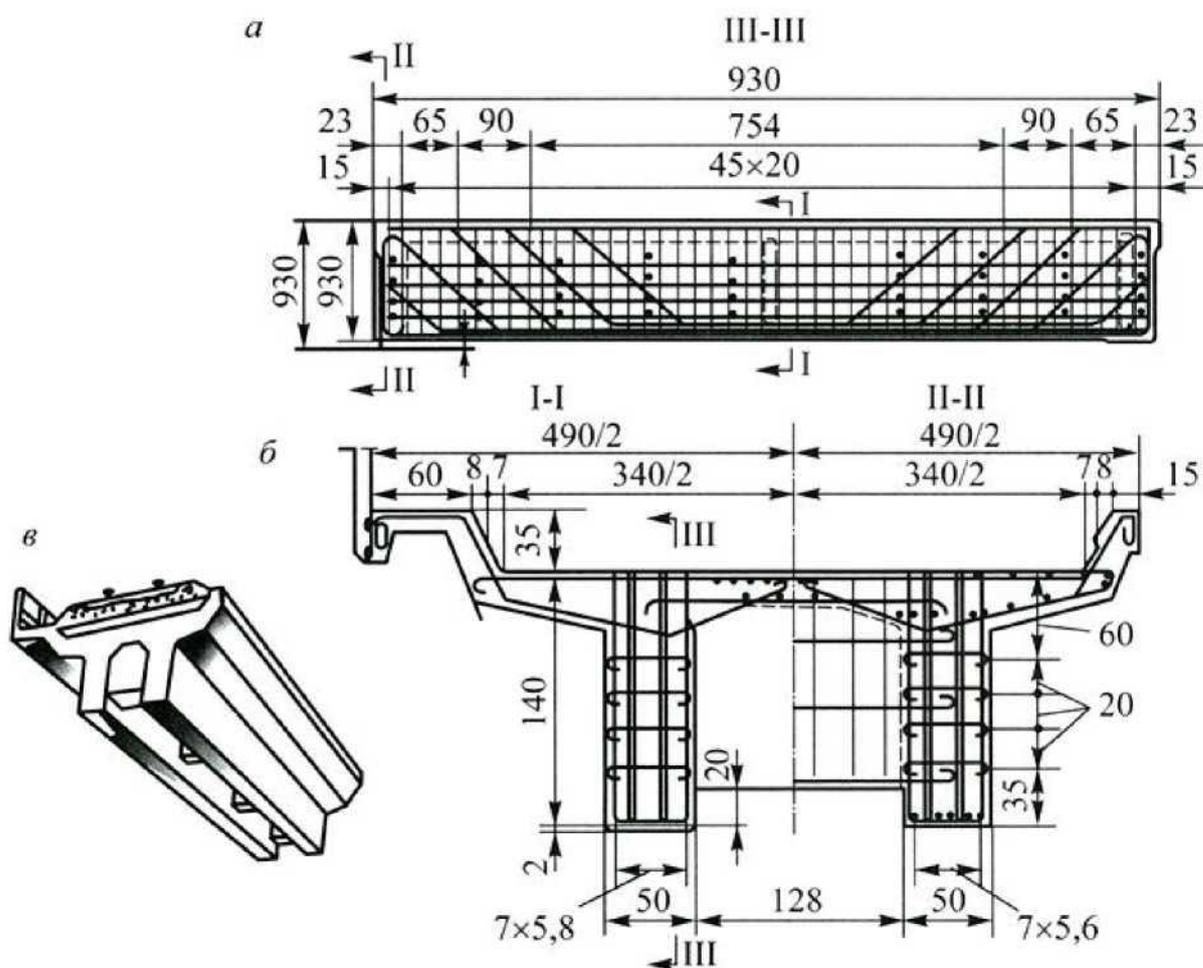


Рис. 6.5. Монолитное ребристое пролетное строение: *а* — продольный разрез; *б* — поперечные разрезы; *в* — общий вид

дольной арматуры воспринимают часть главных растягивающих напряжений, возникающих в ребре, и уменьшают раскрытие наклонных трещин в бетоне. Необходимая общая площадь поперечного сечения рабочей арматуры определяется расчетом на прочность. Рабочая арматура обычно периодического профиля диаметром от 16 до 30 мм. До торцов балки доводится не менее $1/3$ сечения рабочей арматуры. В типовых пролетных строениях из обычного железобетона длиной до 16,5 м толщина ребер принимается равной 50 см, что позволяет выполнить

все конструктивные требования СНиП и обеспечить качественную укладку и уплотнение бетонной смеси в конструкции. Хомуты (поперечная арматура ребра) предназначены для повышения несущей способности наклонных сечений. Шаг и диаметр стержней хомутов определяется расчетом ($d = 8^{22}$ мм). Хомуты, кроме того, объединяют в жесткий каркас верхнюю и нижнюю арматуру. При пролетах от 16 до 34 м экономически обоснованным является применение предварительно напряженных пролетных строений. Для создания предварительного напряжения используется два способа: натяжение на бетон и натяжение на специальные стенды — упоры. В настоящее время стендовый способ является основным для цельноперевозимых пролетных строений. При необходимости иметь боковые тротуары пролетные строения выполняются с консолями, на которых и устраиваются тротуары. Плита проезжей части и консоли образуют балластное корыто для устройства верхнего строения пути.

При пролетах более 15 м неразрезные пролетные строения экономичнее разрезных, в результате разгружающего влияния отрицательных моментов на опорах и уменьшения изгибающего момента в середине пролета. Поэтому в неразрезных пролетных строениях высота главных балок, а следовательно, и объем железобетона меньше, чем в разрезных. Применение неразрезных балочных конструкций дает экономию за счет уменьшения размеров промежуточной опоры, так как на ней нужно разместить одну опорную часть, а не две, как в разрезных.

В консольных пролетных строениях консоли разгружают главные балки, вызывая отрицательные моменты над опорами и уменьшая положительные моменты в пролетах. В результате сечение консольных балок в пролете меньше, чем в разрезных. По своим размерам и затрате материала консольные пролетные строения близки к неразрезным. В мостостроении применяют одно- и двухконсольные пролетные

строения в различном сочетании с подвесными пролетами. Наиболее сложной и ответственной частью в таких пролетных строениях является сопряжение подвесного пролета с консолью. На консольные пролетные строения не влияют неравномерные осадки опор.

Сквозные фермы. При необходимости перекрытия пролета длиной более 50 м экономически оправданным оказывается применение фермы сквозной конструкции, сформированной из отдельных прямолинейных элементов (рис. 6.6). Каждый элемент имеет простую форму и работает в основном на сжатие или растяжение. Сквозные конструкции более трудоемки в изготовлении. Большие трудности вызывает формирование узловых блоков и присоединение к ним растянутых элементов. В железобетонных фермах элементы могут быть сплошными прямоугольного поперечного сечения или пустотелыми, представляющими собой трубчатые центрифугированные элементы наружным диаметром 60 см, как из обычного, так и предварительно-напряженного железобетона. Толщина стенок назначается равной 10—15 см. Более экономичным и технологичным решением является применение ферм с жестким нижним поясом, элементы которого могут воспринимать не только нормальные усилия, но и изгибающие моменты.

Рамные мосты. В балочных мостах основные несущие элементы (балки) передают давление на опоры через опорные части. Наравне с балочными системами широкое распространение в конструкциях мостов получили рамные системы, отличительной особенностью которых является жесткое соединение горизонтальных несущих элементов (ригелей) с опорными стойками (рис. 6.7). При загрузении рамного моста изгибающие моменты в ригеле получаются несколько меньше, чем в неразрезной балке тех же пролетов. Опорные стойки рамных мостов имеют значительно меньшие размеры по сравнению с опорами для балочных пролетных строений, так как их размеры во многом определяются условиями размещения на оголовках опорных частей. Поэтому рамные мосты экономичнее балочных по расходу бетона. Работающие на сжатие с изгибом стойки требуют мощного армирования, что уве-

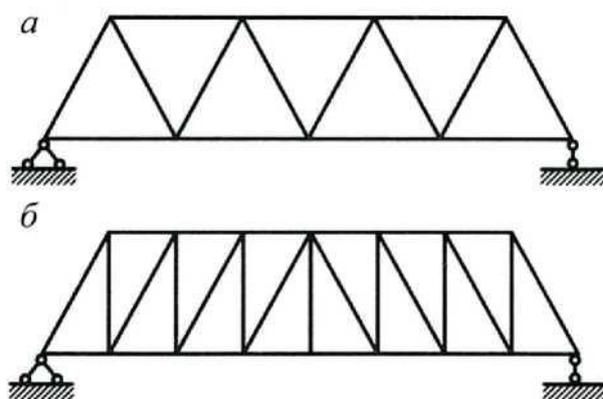


Рис. 6.6. Типы железобетонных ферм:
a — с треугольной решеткой; *б* — с раскосой решеткой

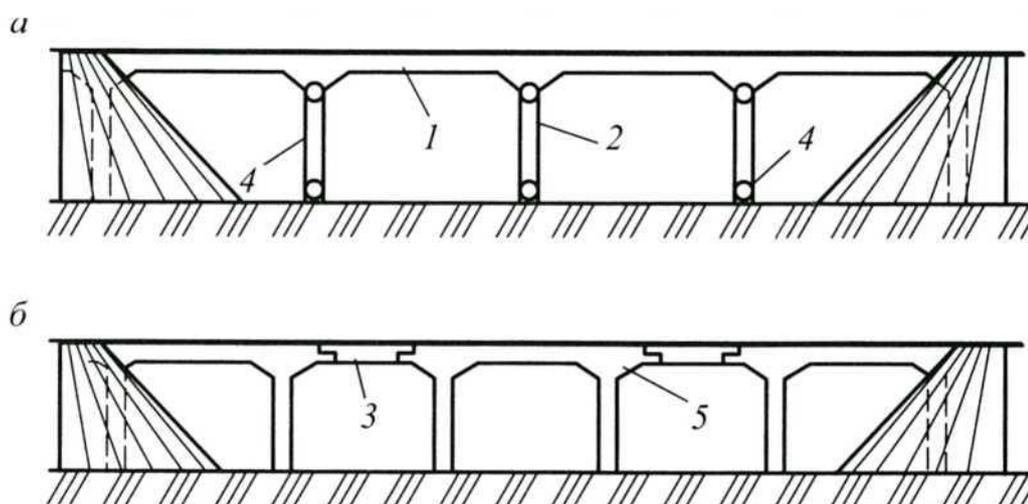


Рис. 6.7. Схемы рамных мостов:

a — с шарнирами в стойках; *б* — с заделкой стоек; 1 — ригель; 2 — стойка; 3 — подвесная балка; 4 — шарнир; 5 — консоль

личивает в сооружении общий расход металла. Изгибающий момент в главной балке (ригеле) меньше, чем в балочных мостах, за счет того, что часть его передается опорам (стойкам); поэтому поперечное сечение ригелей меньше, чем в балочных мостах, при тех же нагрузках, что дает существенную экономию в материалах.

Кроме того, рамные мосты обладают следующими достоинствами: возможностью уменьшения строительной высоты, увеличения подмостового пространства за счет применения стоек небольшого сечения, хорошей обзорностью для водителей транспортных средств, едущих под путепроводом или эстакадой. Существует несколько способов сопряжения рамных мостов с насыпями. Крайние стойки могут входить в конусы насыпи или, при небольших высотах стоек, заменяться устоями. При неравномерной осадке опор рамных мостов в ригелях и стойках возникают дополнительные изгибающие моменты, такие же моменты возникают в рамах большой длины от изменения температуры. Поэтому неразрезные рамы применяются при малодеформируемых грунтах в основаниях опор. Неразрезные рамные мосты реагируют и на усадку бетона. В поперечном сечении рамный железобетонный мост под один железнодорожный путь представляет собой раму с вертикальными или наклонными стойками, которые при большой высоте связаны распорками. Стойки имеют наклон для обеспечения жесткости поперек моста, если высота сооружения превышает расстояние между осями рам более чем в 2,5—3 раза. Поперечное сечение моста под два пути может быть устроено по двум вариантам:

1. Под каждый путь устраивается самостоятельная конструкция из двух продольных рам, по оси моста имеется шов, фундамент также разделен швом.

2. Рамы объединяют в единую конструкцию плитой балластного покрытия, поперечными балками-диафрагмами, распорками и общим фундаментом.

Существенным недостатком рамных систем является их непригодность для промышленного изготовления. Применение элементов заводского изготовления осложнено необходимостью устраивать монтажные стыки в сечениях, где возникают значительные изгибающие моменты и поперечные силы.

В современных рамных мостах основой конструкции служат Т-образные рамы, ригели которых монтируют навесным способом без применения подмостей или промежуточных опор. Рамные системы наиболее пригодны для путепроводов и эстакад, а в мостах через реки тонкие железобетонные стойки могут повреждаться льдом или плавущими предметами. В рамно-подвесной системе на концы ригелей соседних рам устанавливают подвесные балки, т.е. получается рамно-консольная система. В рамных системах больших пролетов применяют ригели сквозных конструкций с различными типами решеток. В современных мостах применяют также рамно-неразрезные системы. Разновидностью рамно-неразрезной системы является конструкция с наклонными стойками, получившая название «бегущая лань». Такая система целесообразна при переходе через ущелье с крутыми склонами.

Несмотря на ряд конструктивных и технологических преимуществ, рамные системы редко применяют в железнодорожных мостах. Основной областью их применения остаются автодорожные мосты.

Сборные мосты. Сборными называются мосты, у которых пролетные строения и опоры собирают на месте строительства из готовых элементов и крупных блоков. В таком виде сборные мосты появились к 1950 г.

При большом объеме строительства в послевоенный период резко выросла необходимость ускорения и удешевления работ, в частности, путем индустриализации. На первом этапе в заводских условиях изготавливали железобетонные пролетные строения малых и средних пролетов, позднее появились сборные опоры и мосты в целом. Освоение сборных конструкций для небольших пролетов объясняется их массовостью и тем, что они доступнее для транспортировки в законченном виде. Среди разнообразных видов конструкций наиболее удачными оказались свайно-эстакадные мосты (рис. 6.8). Они собираются из пяти-шести элементов: сваи, составные ростверка и плитные пролетные строения — одноблочные и двухблочные. Свайно-эстакадные мосты применяются при высоте насыпи от 2,25 до 4 м. Пролетные строения — длиной 3,2 и 5; сваи — прямоугольного сечения 35^х35 см.

Эстакадные мосты состоят из ряда небольших пролетов. Применительно к местным условиям опоры могут выполняться не только на сваях, но и на плитных фундаментах.

Свайные мосты строят пролетами до 16 м при высоте насыпи более 4—5 м. В их опорах увеличено число свай; к вертикальным сваям с возрастанием высоты моста иногда добавляют наклонные сваи.

Арочные мосты в качестве основных несущих конструкций имеют криволинейные элементы — арки или своды (рис. 6.9). Опорные сечения арочных пролетных строений закреплены и не могут смещаться в горизонтальном направлении. При действии вертикальных нагрузок в опорных закреплениях возникает горизонтальная реакция — распор, что является характерной особенностью арочных систем. В общем случае сечения арки работают на сжатие с изгибом. При рациональном проектировании изгибающие моменты в арке могут иметь сравнительно небольшие значения. Так как бетон хорошо работает на сжатие, то сечения арок получаются более экономичными, чем балки такого же пролета. Но

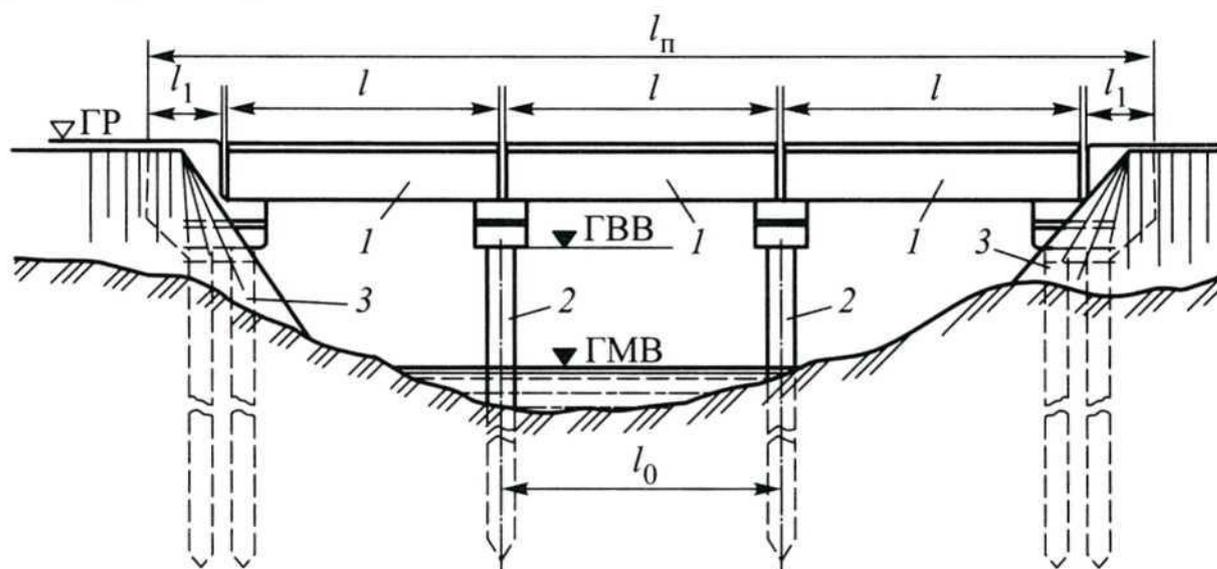


Рис. 6.8. Свайно-эстакадный мост:

1 — пролетное строение; 2 — свайные промежуточные опоры; 3 — береговые опоры (устои); l_0 — расстояния между осями свай промежуточных опор; l — длина пролета; l_1 — длина устоя; l_p — полная длина моста

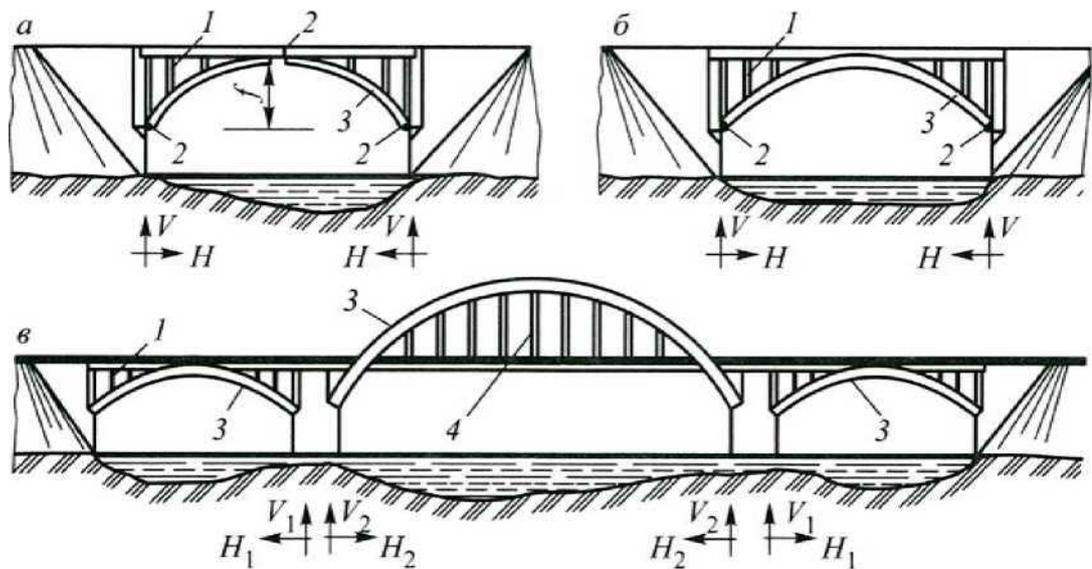


Рис. 6.9. Арочные пролетные строения:

а — однопролетный трехшарнирный арочный мост; *б* — однопролетный двухшарнирный арочный мост; *в* — трехпролетный арочный мост; 1 — надарочные арки или стойки; 2 — шарниры; 3 — арки; 4 — подвески

большие распоры требуют устройства мощных фундаментов и опор. При слабых грунтах основания арочная система может быть вообще нерациональной.

Железобетонные арочные мосты отличаются легкостью конструкции и хорошим внешним видом. По сравнению с каменными и бетонными они значительно легче и экономичнее (6.10).

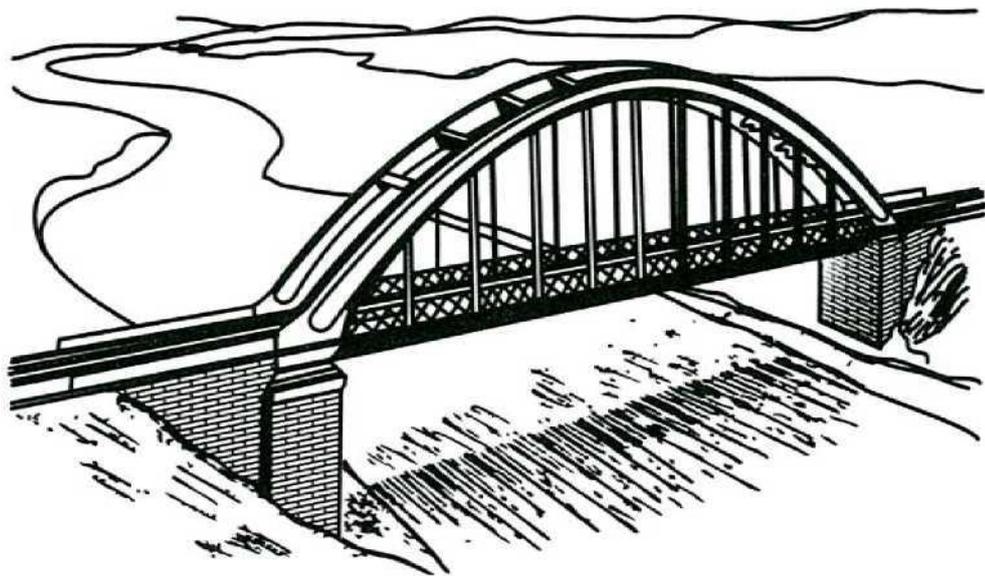


Рис. 6.10. Железобетонный арочный мост

В арочных мостах применяют конструкции с различным расположением проезда относительно арок: с ездой поверху, посередине и понизу. Проезжая часть арочных мостов с ездой поверху опирается на ар-

ки посредством надарочных стоек, при езде понизу подвешивается к аркам с помощью подвесок, а при езде посередине — частично опирается, частично подвешивается. По конструкции различают арочные мосты со сплошными арками, а также с парными или отдельными арками. Арки могут быть бесшарнирными, двухшарнирными и трехшарнирными. Конструкция бесшарнирной арки является наиболее простой и экономичной. Недостатком такой конструкции является возникновение дополнительных внутренних усилий при неравномерной осадке опор и от температурных колебаний. Двухшарнирные арки менее чувствительны к этим воздействиям, а трехшарнирная арка не зависит от них совсем, но зато наличие трех шарниров уменьшает вертикальную жесткость моста. По расчетным схемам бесшарнирная и двухшарнирная арки — статически неопределимые системы, трехшарнирная арка — статически определимая система. Поскольку трехшарнирная арка имеет наименьшую жесткость и перелом прогиба в замковом шарнире, ее применение в мостах под железную дорогу ограничено.

По статической схеме арочные мосты можно разделить на распорные системы, консольные арки и арки с затяжкой (рис. 6.11).

В арочных пролетных строениях нагрузка от подвижного состава воспринимается конструкцией балочного типа — проезжей частью. Усилия с проезжей части передаются на арку через стойки или подвески. В про-

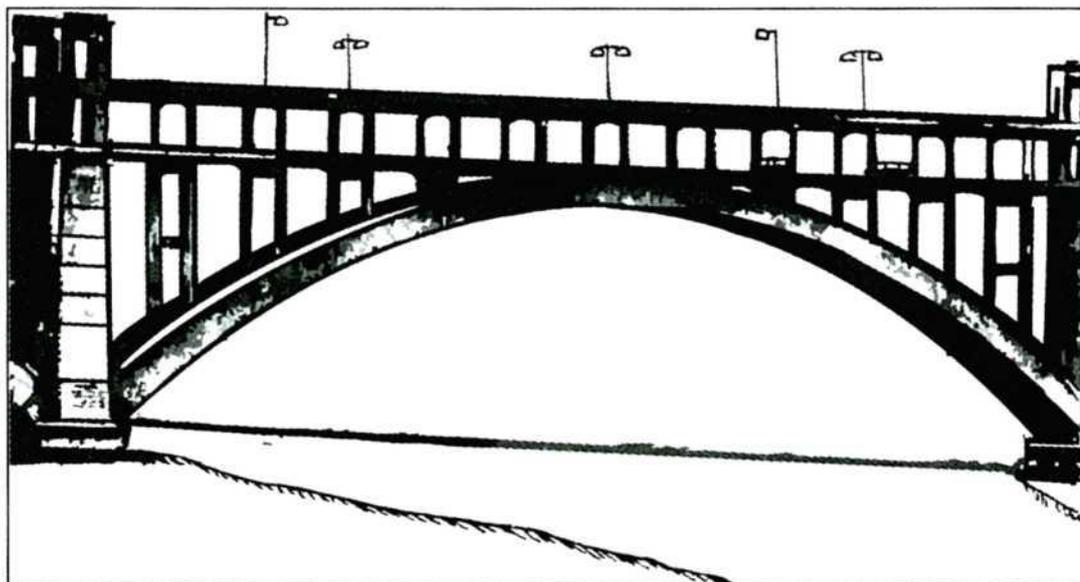


Рис. 6.11. Арочно-распорный мост с ездой поверху через р. Днепр
летных строениях арки объединяются между собой системой связей, образуется пространственная конструкция, способная воспринимать различные горизонтальные нагрузки, кроме того, связи обеспечивают устойчивость арок при продольном изгибе их из плоскости. Опоры рас-

порных арочных мостов воспринимают не только вертикальное давление, но и горизонтальное — распор, из-за чего необходимо увеличивать размеры опор, особенно устоев. Арочные мосты небольших пролетов обычно устраивают со сплошным над сводным строением, при этом свод снабжается арматурой, воспринимающей и сжимающие усилия. В бесшарнирных сводах эта арматура заделывается в тело опоры на достаточную глубину.

В мостах средних и больших пролетов для облегчения конструкции надсводные строения делают сквозными, состоящими из поперечных стенок или стоек, перекрываемых плитой балластного корыта. При большом пролете и значительной ширине моста проезжая часть располагается на поперечных рамах, стойки которых опираются на арки. Арки больших пролетов для облегчения веса выполняются пустотелыми коробчатого сечения.

Коробчатая арка состоит из верхней и нижней криволинейных плит, связанных вертикальными продольными стенками (ребрами). Жесткость такой конструкции обеспечивается поперечными диафрагмами, располагаемыми на расстоянии 4—6 м друг от друга. В арочных мостах со сквозным надарочным строением при деформации арок (от колебаний температуры или от подвижной нагрузки) происходит деформация стоек надарочного строения, отчего в местах сопряжения стоек с арками появляются трещины, особенно в коротких стойках у середины пролета. Чтобы предотвратить появления трещин, в местах сопряжения стоек с арками устраивают шарниры.

Арочные мосты по способу сооружения подразделяют на монолитные и сборные. Монолитные арки бетонируют в пролете с использованием криволинейных подмостей (кружал). Сборные конструкции монтируют из готовых элементов с последующим омоноличиванием стыков. Сборные арочные пролетные строения пролетами 43,5 и 53 м, запроектированные Гипротрансмостом, имеют сборные распорные арки и надарочные строения. Сборные элементы пролетных строений изготавливаются на полигоне с натяжением пучковой арматуры после бетонирования. Элементы арок стыкуются между собой и стойками надарочного строения в узлах опирания стоек. Надарочное строение состоит из поперечных рам, на которых располагаются продольные балки проезжей части неразрезной конструкции с шарнирно-подвижным опиранием. Ноги рам жестко заделываются в арки. Сборка арок производится на инвентарных кружалах.

Возможна другая технология: балка жесткости, подвески и элементы проезжей части выполнены из сборных предварительно напряженных элементов, изготовленных по стендовой технологии; арка и распорки — из обычного железобетона (мост через р. Булу Куйбышевской железной

дороги).

Комбинированные системы мостов образуются путем объединения более простых конструкций. Как правило, в них сочетаются элементы, работающие на изгиб (балки), продольные усилия (подкосы, ванты, гибкие арки), а также на совместное действие указанных факторов.

Наиболее целесообразной для железнодорожных мостов является комбинированная система, образованная из балки и арки (арка с затяжкой).

В арочных мостах с затяжкой распор воспринимается затяжкой, а поэтому опорам передаются только вертикальные давления. Различают мосты: с жесткой аркой, работающей на сжатие и изгиб, и гибкой затяжкой, воспринимающей растягивающие усилия от распора; с гибкой аркой, предназначенной для работы на сжатие, и с жесткой балкой-затяжкой, работающей на растяжение и изгиб; с жесткой аркой и жесткой балкой жесткости — затяжкой.

Арки с затяжками применяют при пролетах более 33 м, когда железобетонные балки становятся нецелесообразными (рис. 6.12).

Комбинированные системы получили широкое распространение в автодорожных мостах. Здесь создано большое число различных конструктивных форм, например: арочно-консольная система, она образуется защемленными в опоры полуарками, объединенными затяжками. Полученные в результате Т-образные рамы соединены между собой продольно подвижным шарниром.

Байтовые и висячие системы. Байтовые мосты применяются для перекрытия пролетов до 300—350 м и там, где сооружение опор сложно и дорого. В этих конструкциях балки жесткости поддерживаются растянутыми наклонными прямолинейными элементами — вантами, закрепленными на стойках — пилонах (рис. 6.13). Ванты изготавливаются из стальных канатов высокой прочности. Применяются различные схемы вантовых мостов, отличающихся типами расположения и количеством вант. Для мостов с железобетонными балками жесткости характерны многобайтовые системы, в которых упрощается конструкция узлов креплений.

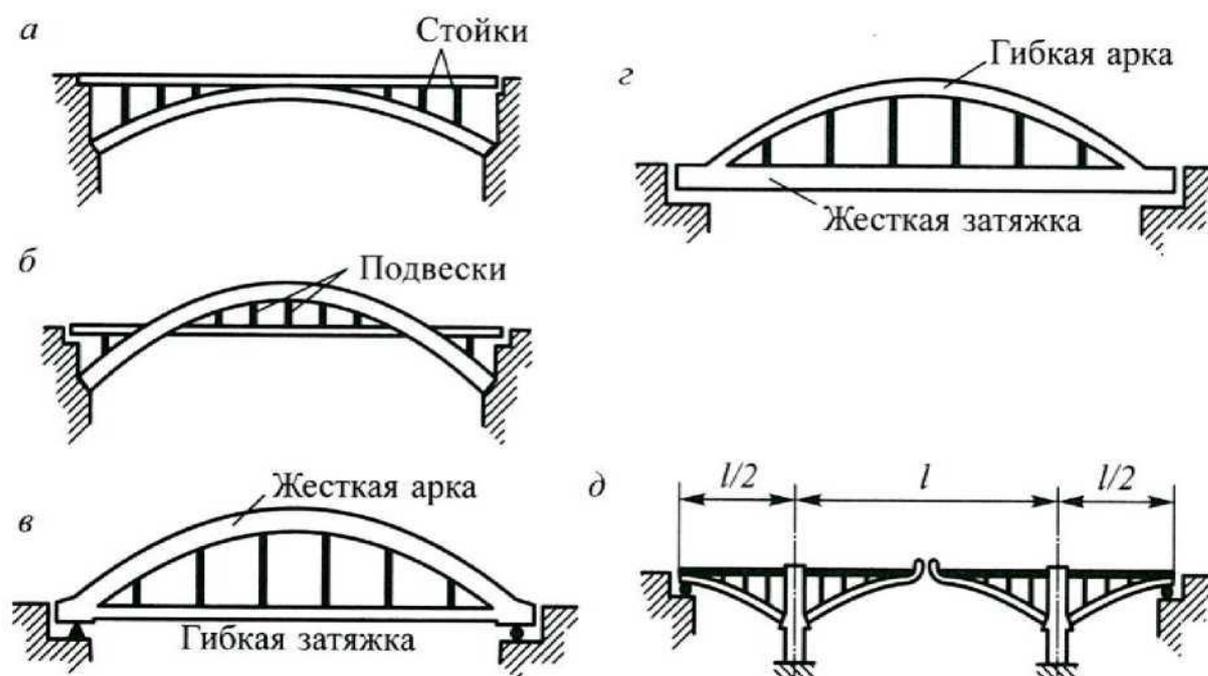


Рис. 6.12. Виды железобетонных арочных мостов:
а — с ездой поверху; *б* — с ездой посередине; *в* — с жесткой аркой и гибкой затяжкой; *г* — с гибкой аркой и жесткой затяжкой; *д* — с консольными арками

ния вант. Системы расположения вант разнообразны. Ванты могут выходить из одной точки пилона или располагаться параллельно, подходя к пилому на разной высоте, или из разных точек пилона и с разным наклоном. Пилон вантового моста может располагаться с наклоном к вертикали под углом $10\text{--}20^\circ$.

Байтовые мосты имеют хорошие экономические показатели.

Висячие системы имеют свободно висящие кабели, или цепи, концы которых закреплены за балки или анкерные опоры. Подвески их могут быть вертикальными или наклонными для увеличения жесткости системы. Висячие системы 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. Достоинством висячих систем являются: 1) рациональное использование высокопрочных сталей в растянутых элементах; 2) способность перекрывать очень большие пролеты; 3) высокая экономичность конструкций при больших пролетах; 4) возможность навесной сборки; 5) высокие архитектурные качества. Основной их недостаток заключается в пониженной вертикальной и горизонтальной жесткости.

В последние годы вантовые системы начали применяться в железнодорожном мостостроении, для мостов небольших пролетов.

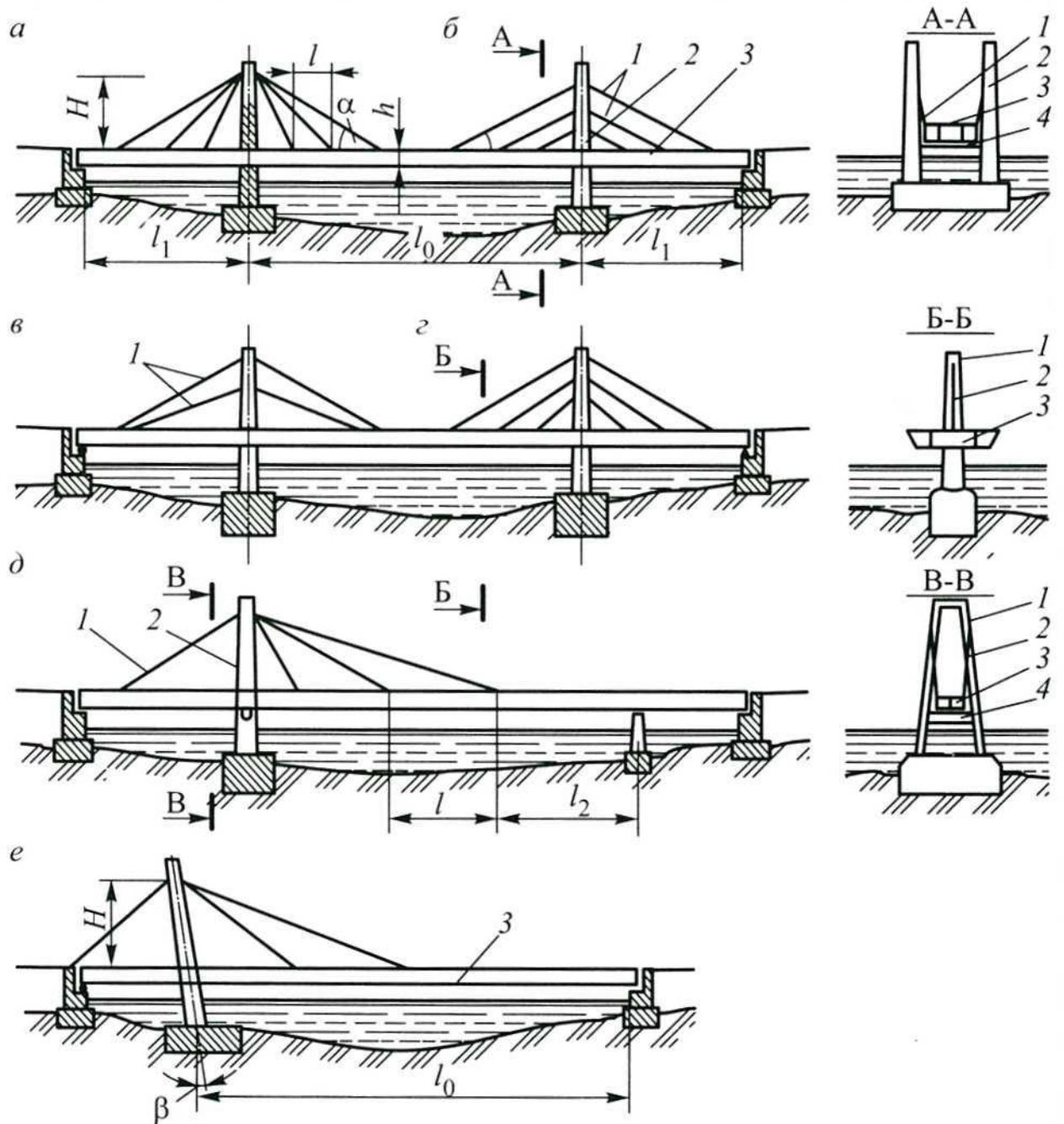


Рис. 6.13. Схемы вантовых мостов:

a — ванты выходят из одной точки пилона; *б* — ванты располагаются параллельно, подходя к пилону на разной высоте; *в* — ванты выходят из одной точки на балке жесткости; *z* — ванты выходят из разных точек пилона и под разными углами наклона; *д* — мост с одним несимметрично расположенным пилоном;

e — мост с наклонным к вертикали пилоном; 1 — ванты; 2 — пилон; 3 — балка жесткости; 4 — поперечная опорная балка; l — расстояние между основаниями вант; l_0 — ширина основного пролета; l_1 — ширина береговых пролетов;

l_2 — расстояние от основания вант до опоры (ближайшей)

Эксплуатация каменных, бетонных и железобетонных мостов

Порядок надзора за всеми трещинами в каменных, бетонных и железобетонных мостах аналогичен порядку надзора за трещинами в массивных опорах. Мероприятия, выполняемые при расшивке швов и заделке трещин, также аналогичны рассмотренным ранее. При содержании массивных мостов особого внимания требует состояние гидроизоляции и нормальный отвод воды. В железобетонных мостах могут наблюдаться следующие неисправности: трещины, отколы защитного слоя, раковины и каверны в бетоне, обнажение и ржавление арматуры, выщелачивание раствора, неплотное опирание балок на опоры и другие дефекты. Недостаточно плотный бетон мостовых конструкций при отсутствии изоляции теряет свою прочность и разрушается под действием воды. Поэтому при появлении признаков выщелачивания (потеки, наблюдаемые на поверхности конструкций) нужно вскрыть балластный слой и произвести замену изоляции. При плохом состоянии кладки, при наличии глубоких трещин или значительного выветривания производится цементация кладки, торкретирование поверхностей. Торкретирование заключается в нанесении на ремонтируемую поверхность увлажненной смеси цемента с песком под действием сжатого воздуха. Соотношение частей цемента и песка колеблется в пределах от 1:2 до 1:6. Применяется быстротвердеющий цемент высоких марок и песок с крупностью зерен не более 5 мм и влажностью до 3—5 %. Количество воды в торкрете составляет 10—15 % по отношению к цементу. При подготовке поверхности к торкретированию удаляются все отставшие части, трещины расчищаются, делаются насечки. Поверхность полностью очищается металлическими щетками или чистым сухим песком из цемент-пушки. Очищенная поверхность продувается сжатым воздухом и промывается струей воды под давлением. Торкретное покрытие выполняется толщиной 20—40 мм и при необходимости армируется стальной сеткой из проволоки диаметром 2—4 мм, со стороной квадрата 5—10 см. Для крепления сетки на поверхности используются штыри, забитые в кладку на расстоянии 30—80 см один от другого. Торкретирование выполняется при помощи цемент-пушки и компрессора. Подача материалов цемент-пушкой может производиться на высоту 80 м и по горизонтали до 200 м. Торкрет укладывается в два-три слоя. Нанесение следующего слоя производится после схватывания предыдущего. Работы производятся при температуре наружного воздуха не ниже +5°C. Применяют также шприц-бетон, обладающий высокой водостойкостью. Шприц-бетон, или крупнофракционный

торкрет, наносится специальной машиной под давлением 8—10 атм. В балочных железобетонных мостах наиболее серьезными являются трещины, пересекающие и сжатую и растянутую зоны. Эти трещины открывают доступ влаги к арматуре, что вызывает ее коррозию. Все трещины и другие дефекты должны быть заделаны цементным раствором; применяются и полимерцементные растворы, состоящие из цемента, песка и водной поливинилацетатной эмульсии. Более пластичные составы получаются применением латексов (полимерцементные краски). Полимерцементные растворы в зависимости от их консистенции наносятся шпателями, мастерками или кистями. Наиболее прочные защитные составы, обладающие хорошей сцепляемостью с бетоном, готовятся на основе эпоксидной смолы или перхлорвиниловой и фенолоальдегидных смол. Чистые цементные растворы имеют плохое сцепление с бетоном, менее долговечны, требуют ухода при твердении.