

РАЗДЕЛ III

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОСТЫ

ГЛАВА 6

Общие сведения о железобетонных мостах

6.1. Краткие сведения о развитии железобетонных мостов

История железобетонных мостов начинается с 1873 г., когда изобретатель железобетона француз Монье получил патент на железобетонный мост. Мост его системы (рис. 6.1) представлял пролетное строение в виде свода, защемленного в массивных опорах. Пролетное строение и опоры имели единый каркас в виде сеток из нескольких слоев из металлических прутьев. В 1875 г. по этой системе во Франции в частном парке был построен первый железобетонный пешеходный мост длиной 16 м и шириной 4 м.

Первые железобетонные мосты имели арочную систему и по внешнему виду были сходны с каменными. Только толщина свода, если она сохранялась в наружных линиях, указывала на материал сооружения.

В 1892 г. француз Геннебик предложил систему армирования, состоящую из продольных стержней с поперечными хомутами. Она обеспечила переход к современным железобетонным сооружениям. По его предложению появились и ребристые мостовые конструкции, что способствовало в дальнейшем развитию арочных и балочных систем железобетонных мостов. За более чем столетний период их развития были созданы мосты разнообразных систем. Железобетон оказался настолько удобным материалом, что из него кроме конструктивных форм, взятых из области каменных, деревянных и металлических мостов, были созданы совершенно оригинальные конструктивные формы, свойственные только ему.

Конструктивные формы мостов изменялись по мере увеличения перекрываемых пролетов. При достижении в арочных мостах пролета 50 м в надсводной части начали применять поперечные проемы. В результате этого свод отделился от надсводной части, которая, в свою очередь, подразделилась на вертикальные стенки

и проезжую часть. Появилась система, состоящая из свода, стенок и плит. Стенки поддерживали плиту проезжей части, опираясь на свод по всей его ширине.

При дальнейшем увеличении пролетов арочных мостов увеличивался пролет проезжей части в надсводной конструкции. Возникла необходимость перехода от плоских к ребристым плитам проезжей части. Наличие ребер в плите сосредоточивало усилия от проезжей части в определенные точки, откуда они передавались на свод при помощи стоек, а не стенок.

Последующие изменения в общей компоновке арочных мостов привели к созданию рациональной системы, в которой усилия от стоек (колонн) стали восприниматься не сводом, а отдельными арками, число которых стало равно числу колонн в поперечном ряду и числу ребер в проезжей части. При дальнейшем развитии этой системы число арок стало меньше числа продольных ребер в проезжей части благодаря применению поперечных балок, поддерживающих продольные балки вместе с плитами проезжей части.

По мере освоения больших пролетов уменьшалось количество несущих арок в составе пролетного строения до двух. Создавалась возможность применения мостов с ездой понизу. В последующих системах с ездой понизу стали применять затяжки в уровне проезжей части, что позволило устранить действие распора на опоры.

Железобетонные балочные мосты появились в конце XIX в. вначале с пролетными строениями в виде плоских плит пролетом до 6 м с арматурой Монье, а затем в виде ребристых плит или

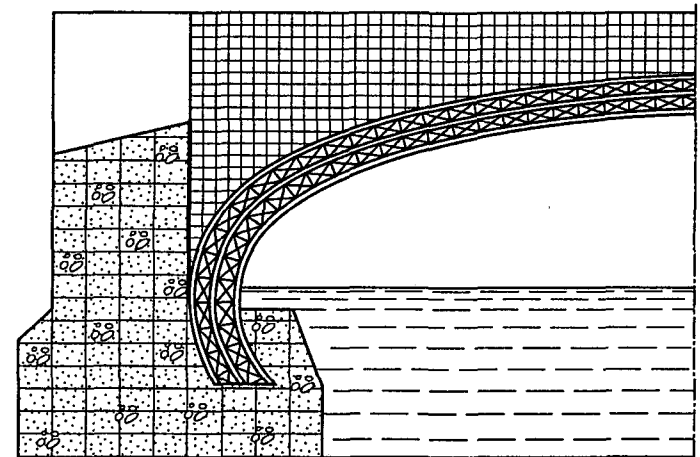


Рис. 6.1. Мост системы Монье

балок пролетом до 15 м с арматурой Геннебика. Вскоре в мостах стали применять неразрезные железобетонные балки, что позволило перекрывать пролеты до 40 м. Дальнейшее развитие железобетонных мостов в начале XX в. связано с применением консольных систем и сквозных ферм. Значительное распространение получили также мосты рамной системы.

В начале XX в. России железобетонные конструкции вообще и мосты в частности развивались под влиянием зарубежного опыта и отечественной практики строительства. Большую роль сыграли обширные опыты проф. Н. А. Белелюбского по исследованию действительной работы железобетонных плит, балок, арок и моста пролетом 17 м, проведенные им в 1886—1891 гг. и доказавшие успешную работу железобетонных конструкций под действием тяжелых нагрузок. Широкое применение железобетонных мостов в России началось после издания в 1908 г. первых технических условий и норм проектирования железобетонных мостов различных систем. До начала Первой мировой войны уже было построено большое количество разрезных, неразрезных и рамных мостов ребристой конструкции.

К этому периоду относится инженерная и научная деятельность наших соотечественников, крупных специалистов по железобетону: проф. Н. А. Белелюбского, руководившего разработкой технических условий, проф. Г. П. Передерия — автора многих сооружений, проф. А. Ф. Лолейта — одного из основоположников теории расчета железобетона по стадии разрушения, проф. И. С. Подольского, издавшего в 1906 г. первый курс железобетонных мостов на русском языке.

В 1920—1940-е годы в СССР было построено значительное число крупнейших железобетонных мостов через реки Днепр, Волгу, Ангара, Неву, через канал имени Москвы и др. Отдельные перекрываемые пролеты в них достигали 130 м. Широкое применение железобетон получил в малых и средних мостах. Большие железобетонные мосты строили из монолитного бетона с использованием арокной системы.

В послевоенный период на высоком техническом уровне выполнено капитальное восстановление и строительство новых мостов. Сооружение в 1951 г. двухъярусного моста под совмещенное движение с рекордным до сего времени арочным пролетом 228 м определило возможность и широкое применение железобетона в мостах.

С 1954 г. в нашей стране началось коренное изменение технологии производства, проявившееся в переходе на сборные конструкции и промышленные методы работ. К этому времени, в основном благодаря разносторонним работам француза Фрейсине, намечилось широкое использование предварительно напряженного железобетона в мостах.

В 1950—1960-х годах из сборного железобетона построены оригинальный по своей системе городской метромост через р. Москву и рекордный по длине (2 800 м) мост через р. Волгу в Саратове.

В последующие десятилетия происходило дальнейшее совершенствование конструкций и технологии железобетонных мостов. Примерами удачных инженерных решений являются Автозаводской, Краснопресненский и Нагатинский мосты и мост в Щукино-Строгине через р. Москву, автодорожные мосты через р. Днепр в Херсоне и Днепропетровске, Южный переход в Киеве, в котором нашли применение самые современные отечественные достижения в строительстве железобетонных мостов.

В конце XX в. в России наметилась тенденция к более широкому применению монолитного бетона в железобетонных мостах во всем диапазоне пролетов благодаря разработке и освоению промышленных методов их строительства, сведения о которых приведены далее.

6.2. Материалы и изделия для железобетонных мостов

Требования к бетону для железобетонных мостов. Мосты эксплуатируются в сложных условиях. Они находятся под воздействием тяжелых подвижных нагрузок; их несущие конструкции не принято защищать от разнообразного атмосферного воздействия: колебаний температуры, влажности, вредных газов; их опоры находятся под активным воздействием ледохода, карчехода и изменяющегося в течение года уровня воды в реке. Сложные условия работы мостов, а также условия производства работ при их строительстве определяют к материалам и изделиям для мостов ряд требований.

К бетону, применяемому в железобетонных мостах, предъявляются следующие требования: высокая прочность, водо- и газонепроницаемость, морозостойкость, химическая стойкость, необходимые сроки твердения, удобоукладываемость, умеренная усадка и ползучесть.

Показателем прочности бетона является *класс бетона по прочности* на осевое сжатие В — временное сопротивление сжатию, МПа, бетонных кубов с размерами ребра 15 см, испытанных в возрасте 28 сут после хранения их во влажной среде при температуре 20 ± 2 °С. Для конструкций мостов и труб применяют бетоны следующих классов прочности на сжатие: В20, В25, В30, В35, В40, В45, В50, В55 и В60. В зависимости от вида и назначения конструкций, способов их армирования и условий их работы применяют в них бетон различных классов (в соответствии с рекомендациями табл. 21 СНиП 2.05.03-84*).

В несущих, особенно предварительно напряженных, конструкциях мостов рекомендуется применять бетон высоких классов прочности. Для их получения используются следующие пути:

- применение цемента высокой активности (активность применяемого цемента обычно в 1,3...1,8 раза более проектного класса бетона по прочности на сжатие);
- рациональное увеличение норм расхода цемента (на 1 м³ бетона не менее 250 кг и не более 450 кг цемента, большие расходы цемента увеличивают деформации усадки и ползучести бетона, что приводит к образованию в нем трещин);
- уменьшение водоцементного отношения;
- применение прочных заполнителей, промывка их в целях удаления глинистых и илистых частиц, ухудшающих сцепление цементного камня с заполнителем;
- подбор оптимального гранулометрического состава песка и щебня, при котором обеспечивается возможно более полное заполнение ими объема бетона и уменьшается содержание цементного камня, имеющего меньшую прочность, чем прочность щебня и песка.

Стойкость бетона против внешних воздействий, водо- и газонепроницаемость обеспечиваются созданием его плотности, измеряемой в кг/м³. Необходимая плотность бетона обеспечивается его вибрированием. В конструкциях мостов и труб предусматривается применение тяжелого бетона с плотностью от 2 200 до 2 500 кг/м³. Применение бетона с меньшей плотностью допускается лишь в опытных конструкциях.

Морозостойкость бетона характеризуется маркой F — наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые способны выдержать образцы 28-суточного возраста без снижения прочности более чем на 15 %. Марки бетона по морозостойкости для мостов и труб в зависимости от климатических условий зоны строительства, расположения относительно воды и вида конструкции принимают в пределах от 100 до 400 по табл. 22 СНиП 2.05.03-84*. Климатические условия характеризуются среднемесячной температурой наиболее холодного месяца (умеренные — при температуре ниже –10 °С, суровые — при температуре от –10 до –20 °С, особо суровые — при температуре ниже –20 °С). Морозостойкость бетона повышают введением в него воздухововлекающих добавок, которые создают мелкие поры, обеспечивающие свободное расширение воды при ее замерзании в теле бетона.

Марка бетона по водонепроницаемости W соответствует давлению воды, МПа, при котором еще не наблюдается ее просачивание через образец бетона высотой 15 см в возрасте 28 сут, испытанного по специальному режиму. Эта марка должна быть не ниже W4 в подводных и подземных частях и не ниже W6 в водопропуск-

ных трубах, элементах дорожной одежды проезжей части и переходных плитах.

Химическая стойкость бетона во многом зависит от его плотности и вида применяемого цемента. В железобетонных мостах применяют бетон на портландцементе, сульфатостойком портландцементе и глиноземистом цементе. Портландцемент используют для наиболее ответственных сооружений. Сульфатостойкий портландцемент и глиноземистый цемент используют в конструкциях, которые могут подвергаться действию морской, минерализованной и болотной воды или другим агрессивным химическим воздействиям, вредно действующим на портландцемент.

Сроки и интенсивность твердения бетона и приобретение им необходимой прочности важны для ускорения производства работ. Цементы с обычной тонкостью помола обеспечивают в возрасте 3 сут около 50 % прочности, тонкомолотые быстротвердеющие цементы позволяют получить в возрасте 1 сут 40...50 % проектной прочности, однако при их использовании увеличивается усадка бетона и снижается его морозостойкость. Ускорение твердения и набора прочности цемента лучше обеспечивать равномерным пропариванием бетона в камерах с последующим постепенным его охлаждением.

Подвижность бетонной смеси очень важна для получения плотного бетона. Она увеличивается с увеличением В/Ц, но это снижает прочность бетона. Для мостов применяют бетонные смеси с водоцементным отношением не более 0,6. При уплотнении бетонной смеси длительным вибрированием могут применяться жесткие смеси с В/Ц = 0,3. Увеличение подвижности бетонной смеси при укладке достигается также введением в нее различных пластификаторов. Имеются пластификаторы, которые превращают бетон с низким водоцементным отношением в весьма подвижную смесь.

Усадка бетона — уменьшение его объема в процессе его твердения и последующего высыхания. Неравномерная усадка бетона приводит к появлению в нем трещин и дополнительных усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. Уменьшения усадочных деформаций достигают сокращением содержания цемента и воды в бетоне, а также постановкой противосадочной арматуры.

Ползучесть бетона — увеличение его деформаций во времени при постоянной нагрузке. Она приводит к уменьшению усилий в напряженной арматуре и перераспределению внутренних усилий в статически неопределимых конструкциях.

Наряду с обычным тяжелым бетоном в опытных конструкциях допускается применять легкий бетон с заполнителем из керамзита или других материалов. Средняя плотность таких бетонов составляет около 1 800 кг/м³. Перспективен также бетон с полимер-

ными добавками, позволяющими значительно повысить водонепроницаемость и сопротивление растяжению бетона. Представляет интерес также фибробетон, прочность на растяжение которого в два-три раза выше, чем обычного бетона.

Арматура для железобетонных мостов. Марки стали для арматуры железобетонных мостов и труб, устанавливаемой по расчету, принимаются по табл. 29 СНиП 2.05.03-84* в зависимости от условий работы элементов конструкций и средней температуры наружного воздуха наиболее холодной пятидневки в районе строительства. Нормами предусмотрено применение в железобетонных мостах следующих арматурных сталей:

- горячекатаных гладких круглых стержней класса А-I; горячекатаных стержней периодического профиля классов А-II, А-III, А-IV, А-V;
- термически упрочненных стержней периодического профиля классов Ат-IV, Ат-V, Ат-VI;
- высокопрочной холоднотянутой гладкой проволоки класса В-II;
- высокопрочной холоднотянутой проволоки периодического профиля класса Вр-II;
- арматурных канатов из высокопрочной проволоки класса К-7 в виде семипроволочных прядей;
- канатов спиральных, двойной свивки и закрытых.

Стержни классов от А-I до А-III применяют в конструкциях в качестве ненапрягаемой арматуры. Стержни классов А-IV, А-V, Ат-IV, Ат-V и Ат-VI, высокопрочную проволоку, пряди и канаты применяют в качестве напрягаемой арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

В качестве конструктивной арматуры в мостах допускается применение арматурной стали классов А-I и А-II. Для монтажных петель предусматривается применение стержней из арматурной стали класса А-I марки ВСтЗсп.2 и класса Ас-II марки 10ГТ.

Запрещается производить сварные соединения стержневой термически упрочненной арматурной стали, высокопрочной арматурной проволоки, арматурных канатов класса К-7 и любых канатов в связи с тем, что в зоне сварки в этих элементах значительно снижается прочность.

Расчетные характеристики бетона и арматуры. Кубиковая прочность бетона является условной характеристикой его прочности. Действительная прочность бетона в конструкции более полно оценивается прочностью на сжатие бетонных образцов в виде призм, высота которых превышает поперечный размер в 3,5 раза и более. Призменная прочность бетона составляет 70...75 % его кубиковой прочности. Прочность бетона на растяжение обычно в 10...15 раз меньше его кубиковой прочности. Предел прочности бетона на

срез примерно в 2,5 раза больше предела его прочности на растяжение.

Расчетные сопротивления бетона на осевые сжатие и растяжение для расчета мостовых конструкций по первой группе предельных состояний определяют делением соответствующего нормативного сопротивления на коэффициенты надежности по бетону и на коэффициент надежности конструкции.

Коэффициент надежности конструкции, учитывающий степень ответственности мостовых конструкций, принимают для бетона $\gamma_n = 1,1$.

Расчетные сопротивления бетона для расчета по второй группе предельных состояний устанавливают при коэффициенте надежности по бетону $\gamma_b = 1$.

Расчетные сопротивления арматуры растяжению для расчета по первой группе предельных состояний определяют делением их нормативных сопротивлений на соответствующие коэффициенты надежности по арматуре и на коэффициенты надежности конструкции. Их принимают различными для автодорожных и железнодорожных мостов. Этим учитывают степень ответственности этих сооружений.

Значения расчетных сопротивлений арматуры растяжению приведены в табл. 31 СНиП 2.05.03-84*.

Расчетные сопротивления ненапрягаемой арматуры сжатию, используемые в расчете по первой группе предельных состояний, при наличии сцепления арматуры с бетоном принимают равными соответствующим расчетным сопротивлениям арматуры растяжению R_s . Наибольшие сжимающие напряжения R_{sc} в напрягаемой арматуре, расположенной в сжатой зоне сечения элемента и имеющей сцепление с бетоном, следует принимать из условия предельной сжимаемости бетона не более 500 МПа.

Для расчета железобетонных конструкций мостов и труб важны также упругие характеристики бетона и арматуры — модули упругости и коэффициенты Пуассона. Бетон является упруговязкопластичным материалом.

Его полные деформации от напряжений включают упругие, вязко-упругие и пластические деформации, которые зависят от уровня напряжений. В связи с этим модуль упругости зависит от уровня напряжений и времени действия нагрузки. Кроме того, модуль упругости зависит от класса прочности бетона, возрастая с его повышением; он также зависит от возраста бетона, вида его напряженного состояния. Он уменьшается при температурно-влажностной обработке бетона, при работе бетона в условиях попеременного замораживания и оттаивания, воздействия солнечной радиации.

При проектировании железобетонных конструкций мостов и труб трудно учесть реальные значения модуля упругости бетона,

поэтому для расчета применяют средние, условные значения модуля упругости E_b на сжатие по табл. 28 СНиП 2.05.03-84*.

Для бетона, подвергаемого тепловлажностной обработке, а также для бетона, работающего в условиях попеременного замораживания и оттаивания, эти значения модуля упругости уменьшаются на 10 %, а для бетона конструкций, не защищенных от солнечной радиации, — на 15 %.

Модуль сдвига бетона G_b принимают равным $0,4 E_b$, а коэффициент Пуассона $\mu = 0,2$.

Модули упругости арматуры принимают по табл. 34 СНиП 2.05.03-84*. По мере возрастания прочности стали, модуль упругости ее уменьшается с 206 000 до 196 000 МПа. Модуль упругости пучков из параллельных проволок принимают 177 000 МПа, а пучков из арматурных канатов К-7, канатов спиральных и двойной свивки — 167 000 МПа.

Материалы для гидроизоляции бетона мостов. Гидроизоляция предотвращает проникновение атмосферной влаги или грунтовых вод к бетону пролетных строений или опор и предохраняет бетон от разрушения, а арматуру от коррозии.

Гидроизоляционные материалы, применяемые в мостостроении, подразделяются на обмазочные и оклеечные. Для обмазочной гидроизоляции применяют холодные окраски и горячие обмазки. Для холодных окрасок используют битумы марок III и IV, разжиженные лигроином или керосином, а также дегтевые лаки. Холодная окраска является первым грунтовочным слоем, по которому наносят горячую обмазку слоем толщиной 2...3 мм. Материалом для горячих обмазок служат специальные мастики — смеси битума с мелким асбестовым волокном.

Для оклеечной гидроизоляции применяют традиционные рулонные материалы на основе битума и новые материалы на основе синтетической резины (бутилкаучука).

Простейшим рулонным материалом на основе битума является рубероид. Он имеет невысокие изоляционные качества и недолговечен, так как состоит из бумажной упрочняющей основы. Значительно лучшими свойствами обладает гидроизол. Его гидроизоляционной основой также является битум, но он упрочен асбестовым или асбесто-целлюлозным картоном. Благодаря хорошим гидроизоляционным качествам и долговечности он нашел широкое применение в мостостроении. Применяется также гидростеклоизол, который имеет армирующую основу из стеклоткани. Ее стойкость в щелочной среде вызывает сомнения. Лучшими гидроизоляционными свойствами и технологическими достоинствами обладает фольгоизол, выпускаемый на основе рифленой или гладкой алюминиевой фольги толщиной до 0,3 мм. В качестве кровного слоя для фольгоизола применяют битумно-резиновую мастику. По гидроизоляционным свойствам он лучше других мате-

риалов, но значительно дороже. Фольгоизол применяют только в наиболее ответственных сооружениях: больших мостах и тоннелях.

Основной способ ведения работ с битумными гидроизоляционными рулонными материалами — безмастичная приклейка с обязательной предварительной грунтовкой бетона. Для оплавления битумного кровного слоя применяют нагревательные горелки на всю ширину укладываемого материала.

Температурные ограничения в использовании битумных гидроизоляционных материалов вызвали необходимость разработки новых гидроизоляционных материалов. Для изоляции автодорожных мостов разработан бутизол — эластичный морозостойкий (до температуры -70°C) резиноподобный материал на основе бутилкаучука. Резиноподобные рулонные материалы приклеивают к изолируемому материалу холодными мастиками или клеями.

Перспективны в качестве изолирующих слоев синтетические материалы в виде листов из поливинилхлорида, полипропилена и полиэтилена. Прошли опытную проверку и находят более широкое применение новые отечественные технологичные рулонные материалы: изопласт, мостоласт и дальмостоласт.

Клеи для склеивания элементов конструкций. Клей как конструктивный материал для склеивания бетонных конструкций экономически целесообразно применять только в том случае, если он имеет связующую прочность не ниже прочности бетона соединяемых элементов, а модуль упругости в отвержденном состоянии и коэффициент расширения близки по значению к характеристикам склеиваемого бетона. Клеевые соединения должны быть долговечны, устойчивы к воздействию среды в процессе эксплуатации. Этим требованиям соответствуют клеи на основе эпоксидных смол. В них кроме смолы входят отвердитель, пластификатор, наполнитель и модифицирующие добавки. Основным компонентом клеев в отечественном мостостроении служили эпоксидные смолы марок ЭД-5, ЭД-6 и ЭД-40. С 1973 г. налажен выпуск новых эпоксидных смол марок ЭД-22, ЭД-20, ЭД-16 и ЭД-14, имеющих некоторые технологические преимущества.

Полимеризация (отверждение) смолы происходит под воздействием отвердителя. В зависимости от вида отвердителя эпоксидные смолы могут быть отверждены при нормальной температуре или при нагревании. В мостостроении применяют отвердители холодного процесса полимеризации: гексаметилендиамин, полиэтиленполиамин и триэтанолдиамин.

Технологические свойства клея регулируют изменением количества и вида отвердителя, пластификатора и наполнителя. Количество отвердителя обычно составляет 10...25 % массы эпоксидной смолы. В качестве пластификаторов при склеивании используют дибутилфталат, полиэфиркрилат. Обычно их вводят в преде-

лах 5...30 % к массе эпоксидной смолы. При избытке пластификатора понижается прочность и увеличивается деформативность клеевого шва.

Наполнитель не влияет на процесс полимеризации смол и технологическую жизнеспособность клея и используется в основном для изменения коэффициента температурного расширения клея и уменьшения расхода эпоксидной смолы. В качестве наполнителей в мостостроении используют портландцемент, молотый кварцевый песок, андезитовую или диабазовую муку.

Необходимое условие высококачественного клеевого шва — хорошая подготовка стыкуемых поверхностей к склеиванию. Поверхность бетона должна быть чистой, сухой, прочной. Очистку поверхностей необходимо производить пескоструйными аппаратами или механическими щетками.

Жизнеспособность клеев на эпоксидной смоле при температуре от 20 до 25 °С около 2...2,5 ч. При более низкой температуре жизнеспособность клея увеличивается.

Имеются клеи, предназначенные для склеивания бетонных стыков при низких положительных и отрицательных температурах с использованием обогрева. Разработаны также клеи, которые используют для улучшения сцепления свежесуложенного бетона с ранее уложенным отвердевшим бетоном.

6.3. Основные системы железобетонных мостов и области их применения

В современном мостостроении железобетонные мосты получили широкое применение при малых, средних и даже весьма больших пролетах. В них применяются разнообразные конструктивные решения и статические схемы: балочные, рамные, арочные и комбинированные.

Наибольшее распространение получили *балочные* мосты с использованием разрезных, неразрезных и консольных систем. Балочные разрезные мосты (рис. 6.2, а) используют для перекрытия пролетов до 42 м. Неразрезные балочные мосты (рис. 6.2, б) применяют при пролетах от 33 до 147 м. Неразрезная система характеризуется большей жесткостью и меньшей деформативностью пролетного строения от временных нагрузок. Однако применение неразрезной системы возможно при отсутствии осадки опор. Осадка опор в балочных неразрезных пролетных строениях может вызвать появление значительных дополнительных усилий и служить причиной разрушения моста. В настоящее время строители обеспечивают исключение осадки опор, что открыло широкие возможности для применения неразрезных пролетных строений при различных грунтовых условиях.

В консольных системах (рис. 6.2, в) подвесные пролетные строения пролетом l_1 опираются на консоли с вылетом l_2 основных пролетных строений. По распределению усилий консольные системы близки к неразрезным, однако имеют меньшую жесткость и под нагрузкой дают переломы упругой линии в местах сопряжения подвесных пролетных строений с консолями. Вследствие статической определимости консольной системы осадки опор не вызывают в пролетных строениях дополнительных усилий. Тем не менее мосты с использованием консольных систем в настоящее время не применяют в связи со сложностью узлов соединения подвесных и основных пролетных строений.

Опоры неразрезных и консольных мостов вследствие размещения на них по одной опорной части и центрального их нагружения имеют меньшую ширину, чем опоры разрезных мостов.

Простейшие *рамные* системы мостов (рис. 6.2, г) применяют при пролетах 30...60 м. Ввиду совместной работы пролетных строений с опорами изгибающие моменты в пролетных строениях

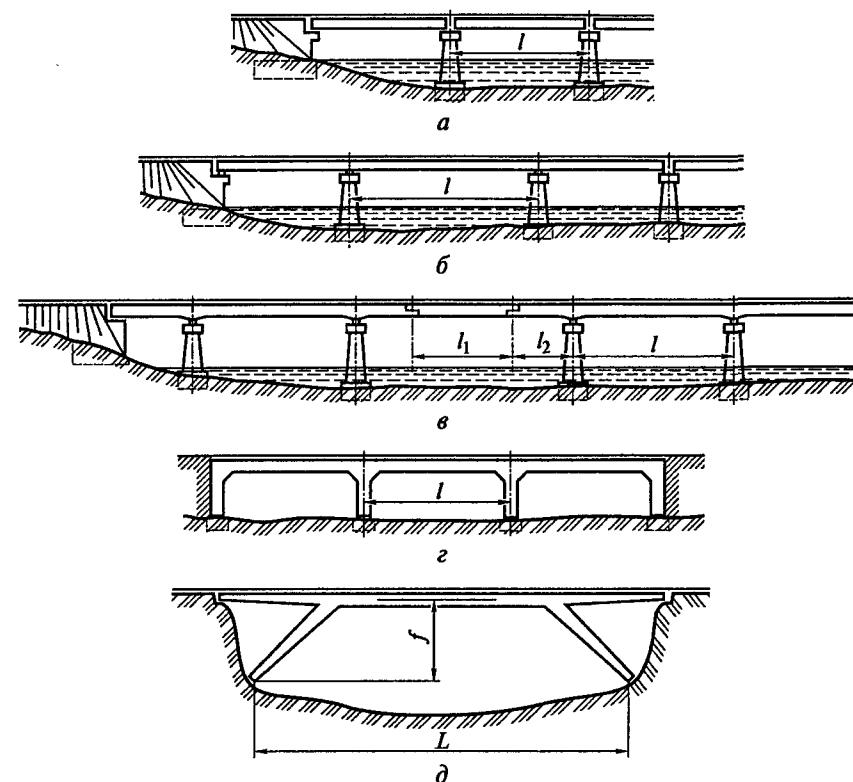


Рис. 6.2. Виды балочных (а—в) и рамных (г, д) мостов

уменьшаются. Это позволяет уменьшить строительную высоту пролетных строений. Весьма широкое распространение получают рамные мосты с наклонными стойками (рис. 6.2, д). Более широкое распространение получили мосты из Т-образных рам: рамно-балочные и рамно-консольные. Рамно-балочные системы (рис. 6.3, а) мостов получают при шарнирном соединении рамных и подвесных пролетных строений. Пролеты / таких систем могут быть в пределах от 40 до 150 м. В ригелях Т-образных рам возникают только отрицательные изгибающие моменты, а в подвесных разрезных пролетных строениях — только положительные. Опоры этих рам от действия вертикальных нагрузок передают на основание вертикальную силу и изгибающий момент.

В рамно-консольных системах (рис. 6.3, б) Т-образные рамы шарнирно связаны между собой. Такие системы применяют для пролетов 60...200 м. Опоры мостов этой системы передают на основание еще и горизонтальную силу. Консоли рам могут быть монолитными, в этом случае получается многопролетная рамная система с пролетами до 250 м.

Рассмотренные рамные системы представляется возможным возводить навесным бетонированием или навесным монтажом.

В России построены также мосты особой рамно-консольной системы (рис. 6.3, в), Т-образные рамы которых состоят из двух полуарок, связанных затяжкой в уровне проезжей части. Т-образные рамы шарнирно связаны между собой в середине пролета. В мостах такой системы получены пролеты до 120 м.

При прочных грунтах в основании опор возможно применение мостов арочных систем (рис. 6.4, а). Арками железобетонных мостов перекрывались пролеты от 50 до 390 м. Опоры этих мостов воспринимают значительные горизонтальные составляющие реакций, что требует развития фундаментов. Сами арки работают преимущественно на сжатие, прочность железобетона в них используется весьма эффективно.

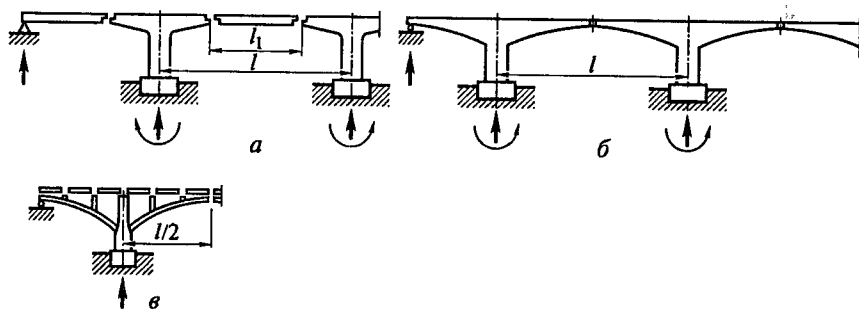


Рис. 6.3. Рамно-балочная (а) и рамно-консольная (б, в) системы мостов

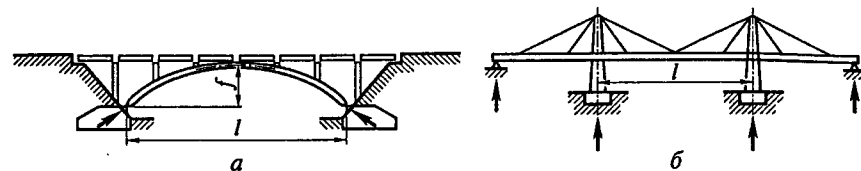


Рис. 6.4. Мосты арочной (а) и вантовой (б) систем

В последние десятилетия в железобетонных мостах находят применение вантовые системы (рис. 6.4, б). Они имеют неразрезные железобетонные балки жесткости, поддерживаемые наклонными вантами, закрепленными на вершинах вертикальных пилонов. Ванта работают только на растяжение, они создают упругие опоры для балки жесткости, что облегчает ее работу. Пилоны работают в основном на сжатие. Пролеты мостов такой системы с железобетонными балками жесткости в настоящее время превысили 400 м.

В последние десять лет в мировом мостостроении получают распространение экстрадозные железобетонные пролетные строения (рис. 6.5, б), которые занимают промежуточное положение между традиционными железобетонными предварительно напряженными пролетными строениями (рис. 6.5, а), возводимыми методом уравновешенного бетонирования (или монтажа) и вантовыми пролетными строениями (рис. 6.5, в). Их основной особенностью является внешнее расположение напрягаемой арматуры и малое отношение высоты пилона к длине пролета (не более 0,1), что позволяет более эффективно, чем в вантовых пролетных строениях, использовать прочность материала напрягаемых элементов, так как они используются только для обжатия пролетного строения.

Современные железобетонные мосты сооружают как монолитными, так и сборными. Монолитные мосты строят различными способами с использованием инвентарной металлической опалубки. Сборные мосты монтируют из элементов, изготовленных на заводе или полигоне. Монолитные мосты более надежны, но темпы их строительства ниже, чем сборных. Применение сборных мостов позволяет увеличить темпы строительства, уменьшить трудоем-

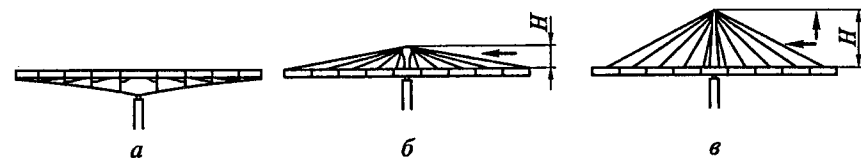


Рис. 6.5. Экстрадозное (б) пролетное строение в сравнении с балочным (а) и вантовым (в)