

Л.А. Шабалина

ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Учебное пособие

Л.А. Шабалина

ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

*Рекомендовано
Управлением учебных заведений
и правового обеспечения Федерального агентства
железнодорожного транспорта в качестве учебного пособия
для студентов техникумов и колледжей
железнодорожного транспорта*

Москва
2007

УДК 624.19/.8

ББК 39.112
Ш12

Рецензенты: начальник отдела инженерных сооружений Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД» *Б.В. Михлин*; начальник отдела эксплуатации службы пути Управления Московской ж.д. — филиала ОАО «РЖД» *В.А. Ульянов*; канд. техн. наук, доцент МИИТа *И.А. Сильницкий*; преподаватель Московского колледжа железнодорожного транспорта *С.Ф. Гучков*

Шабалина Л.А.

Ш12 Искусственные сооружения: Учебное пособие для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. — 264 с.
ISBN 978-5-89035-517-1

Приведены основные понятия и назначение наиболее распространенных видов искусственных сооружений: мостов, водопропускных труб, подпорных стен, тоннелей, метрополитенов. Рассмотрены их устройство, основные конструктивные особенности. Освещены вопросы эксплуатации и текущего содержания искусственных сооружений, производства работ по продлению сроков их службы, безопасного и эффективного выполнения работ в эксплуатационных условиях.

Учебное пособие предназначено для студентов техникумов и колледжей специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство», учащихся технических школ и училищ, готовящих специалистов путевого хозяйства железнодорожного транспорта, а также будет полезно путейцам-мостовикам, мастерам и бригадирам по искусственным сооружениям дистанций пути.

УДК 624.19/.8
ББК 39.112

ISBN 978-5-89035-517-1

© Шабалина Л.А., 2007
© ГОУ «Учебно-методический центр
по образованию на железнодорожном
транспорте, 2007

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими, наиболее сложными и дорогостоящими элементами транспортных магистралей являются искусственные сооружения. Название это условно, так как все сооружения являются воплощением строительного искусства, а не естественным продуктом природных процессов. Практически понятие «искусственные сооружения» распространяется только на мосты и близкие им по назначению сооружения. На автомобильных дорогах их называют также транспортными сооружениями.

К искусственным сооружениям относятся: мосты, виадуки, путепроводы, эстакады, акведуки, трубы под насыпями, дюкеры, тоннели, галереи, селеспуски, подпорные стены, быстротоки. Каждое из них поддерживает или защищает путь и проходящий по нему подвижной состав.

Искусственные сооружения располагаются в местах пересечения железнодорожного пути с водными, высотными или другими препятствиями. Искусственные сооружения требуют к себе особого внимания в вопросах их содержания, качественного ремонта и эксплуатации. Результаты анализа материалов о состоянии искусственных сооружений за 2004 г. показывают, что на железных дорогах России эксплуатируется 82 967 инженерных сооружений полной длиной 2436,4 тыс. пог. м и развернутой длиной 2774,0 тыс. пог. м. Количество мостов, виадуков и путепроводов составляет 37,4 % (31 012 шт.) полной длиной 953,8 тыс. пог. м, при этом количество постоянных сооружений составляет 30 722 шт. полной длиной 951,3 тыс. пог. м и 1095 тыс. пог. м развернутой длиной.

Небольшие изменения количественного состава искусственных сооружений отмечены на всех без исключения 17 дорогах. Эти исключения произошли в основном за счет реконструкции и переустройства сооружений, а также уточнения данных при внедрении программы АСУ-ИССО. На Северной железной дороге количество мостов сокра-

тилось в результате переустройства их на трубы; на Калининградской железной дороге увеличилось количество малых мостов за счет нового строительства и взятия на баланс ОАО «РЖД» автодорожных путепроводов, ранее состоявших на балансе городской администрации. Эти колебания в количествах и протяженности искусственных сооружений не сказываются кардинально на их усредненной общей стоимости, составляющей порядка 17 % от стоимости всех основных фондов путевого хозяйства.

Одной из важнейших задач является содержание искусственных сооружений на железных дорогах, продление срока их службы. Возраст многих из них достигает 100 лет и более, значит, одновременно в эксплуатации находятся сооружения, построенные по различным строительным нормам; грузоподъемность и надежность их различны. Для обеспечения нормальной и длительной работы сооружений необходимо выполнять комплекс работ по обследованию, испытаниям, оценке грузоподъемности и надежности, ремонту, усилению и реконструкции. Реконструкция мостов и труб часто бывает затруднительной, поэтому вопросы исправного состояния и надежности искусственных сооружений являются очень важными в организации их эффективного использования.

Раздел I ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Глава 1 ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. Виды искусственных сооружений

В конструкции железнодорожного пути искусственные сооружения вместе с земляным полотном являются элементами нижнего строения пути, обеспечивающим его непрерывность при пересечении дорогой водных, высотных или других препятствий. При пересечении с рекой непрерывность пути обеспечивается мостом (рис. 1.1). При пересече-

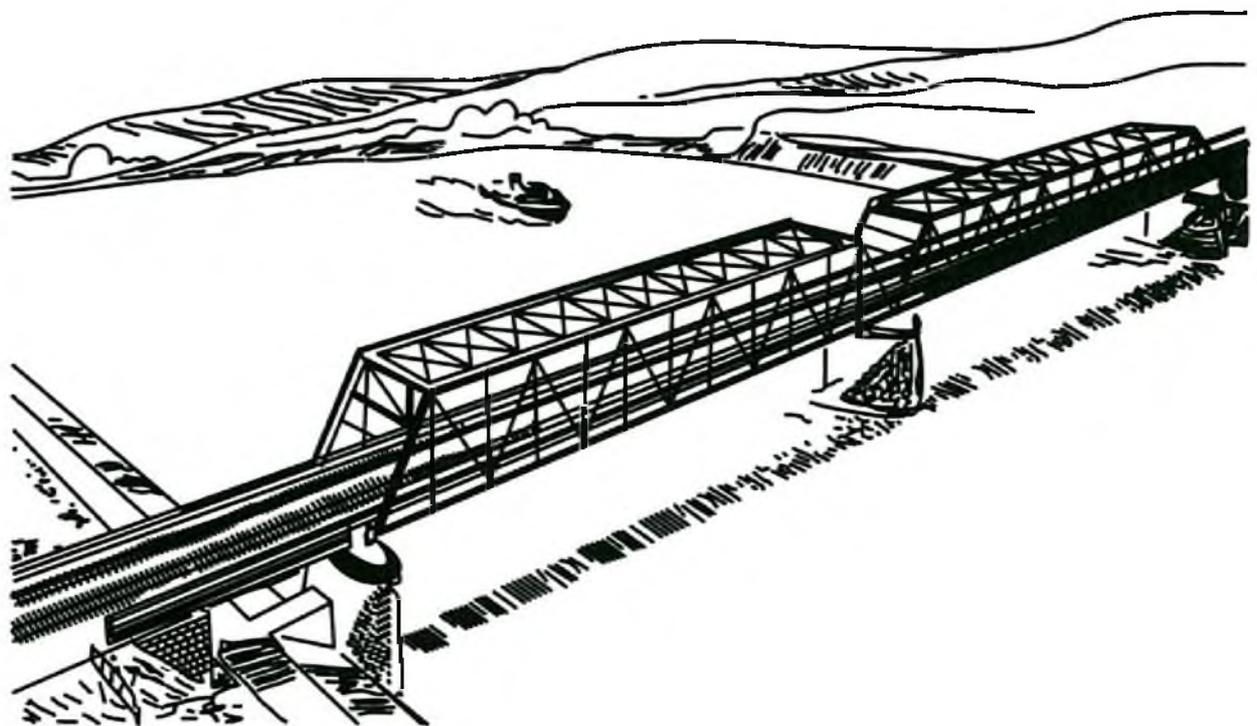


Рис. 1.1. Железнодорожный мост (общий вид)

нии дорог в разных уровнях мост называется путепроводом (рис. 1.2). Взамен высоких насыпей устраивают эстакады (рис. 1.3), мост с лотком под водоток называется акведуком (рис. 1.4) (от «аква» — вода).

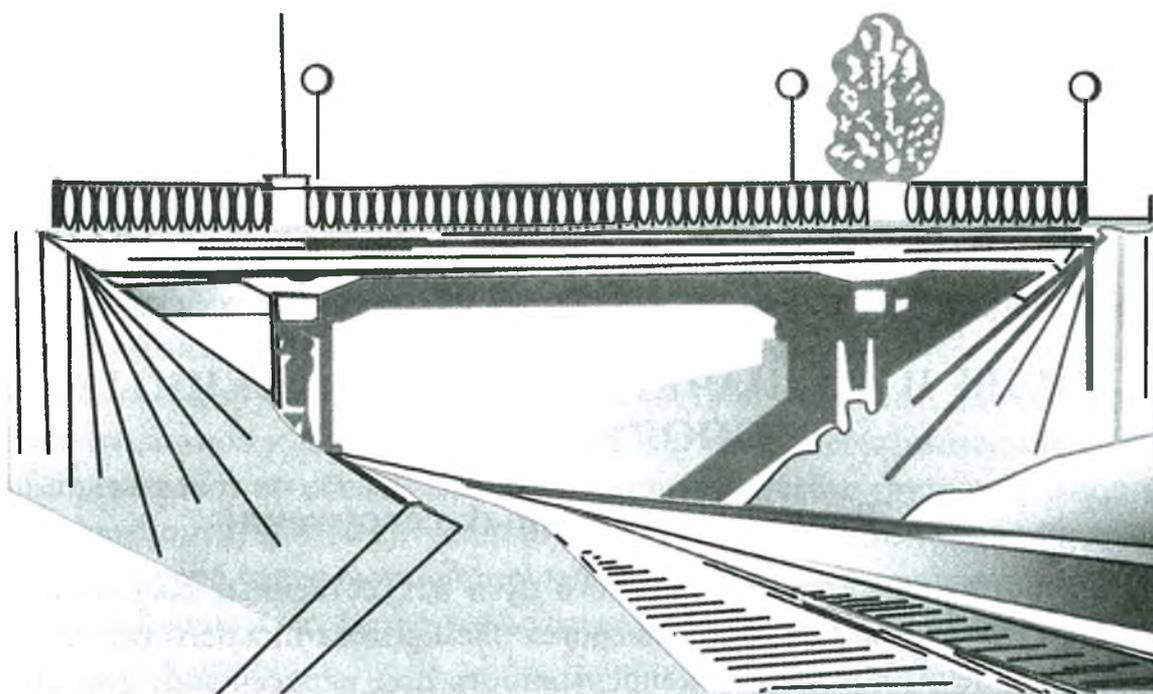


Рис. 1.2. Путепровод (общий вид)

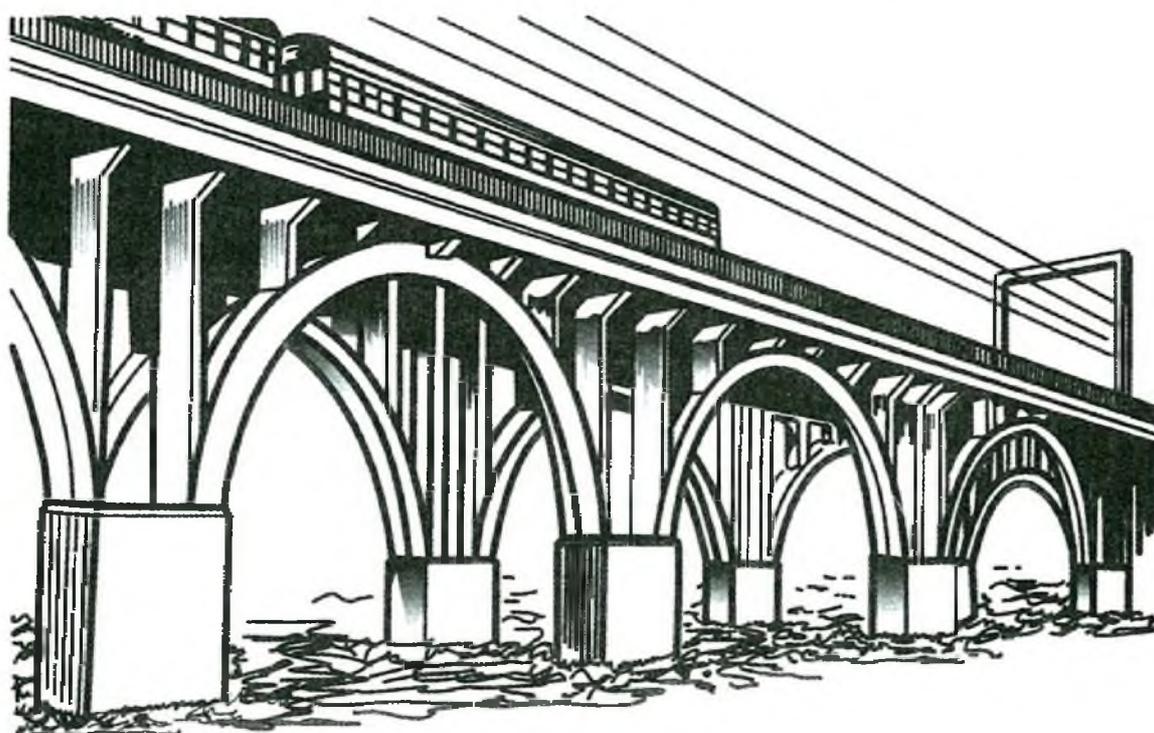


Рис. 1.3. Эстакада



Рис. 1.4. Акведук



Рис. 1.5. Труба в насыпи

На небольших постоянных (ручьи, каналы) и периодических (временных) водотоках строят водопропускные трубы (рис. 1.5). Водопропускная труба, предназначенная для перепуска воды через выемку, называется дюкером (рис. 1.6). При отсутствии ярко выраженного лога (русла водотока) воду пропускают через фильтрующую насыпь (насыпь, специально отсыпанная из камня) (рис. 1.7).

Для преодоления высотного препятствия применяют тоннели (рис. 1.8). Другой вид горных искусственных сооружений—галереи—предназначены для удерживания грунта от обрушения на путь, защиты пути

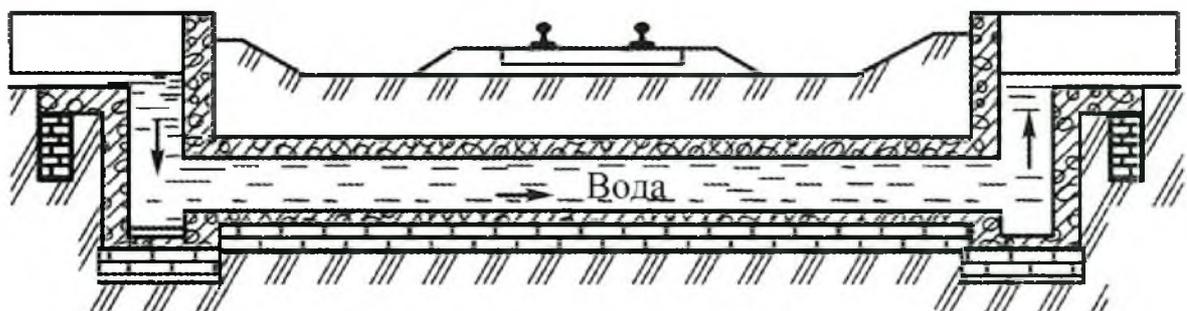


Рис. 1.6. Дюкер



Рис. 1.7. Фильтрующая насыпь:

1 — насыпь; 2 — камень (крупностью 30—40 см); 3 — переходный слой камня и щебня; 4 — слой мха

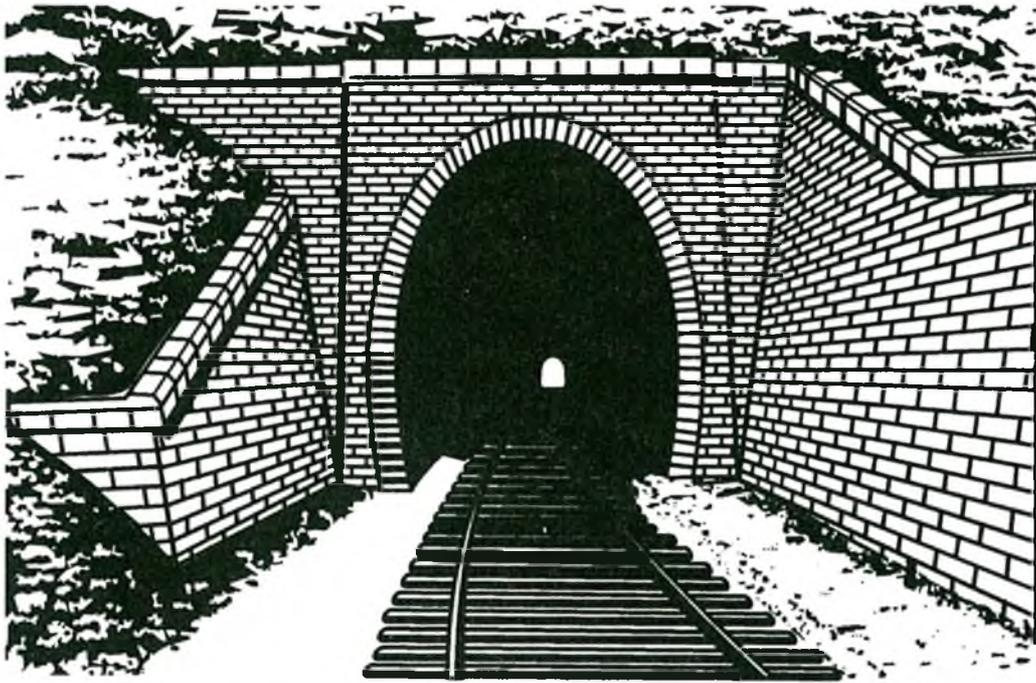


Рис. 1.8. Железнодорожный тоннель

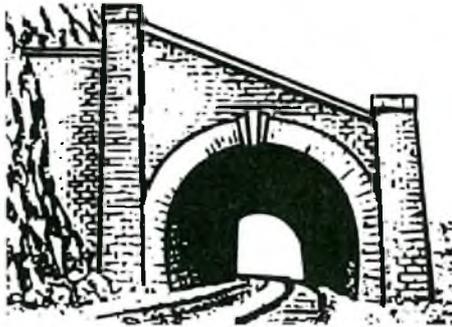


Рис. 1.9. Галерея



Рис. 1.10. Селеспуск

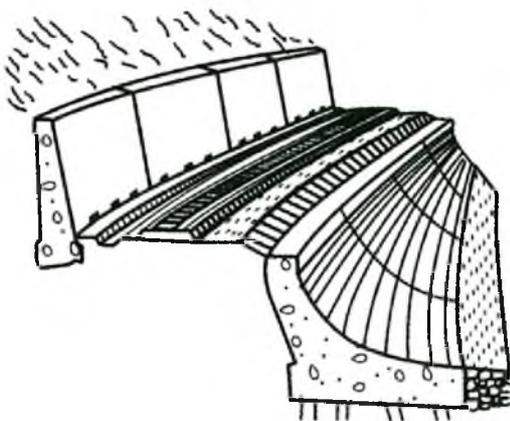


Рис. 1.11. Подпорные стены

от обвалов и камнепадов (рис. 1.9). Для защиты пути от грязекаменных потоков в горных условиях применяют селеспуски (сель — грязевой поток) (рис. 1.10).

Подпорные стены удерживают от обрушения откосы земляных сооружений или крутые склоны косогоров (рис. 1.11). Для защиты от размыва земляного полотна водными потоками большой скорости устраивают быстротоки (водоотводящие каналы или лотки).

1.2. Классификация мостов

Мостом называется сооружение, обеспечивающее пропуск транспортной магистрали через препятствие (рис. 1.12—1.22). Мосты классифицируются по различным признакам:

- назначению;
- статической схеме и характеру работы под нагрузкой;
- виду преодолеваемого препятствия;
- расположению уровня проезда относительно несущей конструкции пролетного строения;
- материалу;
- длине моста;
- числу пролетов;
- конструкции пролетных строений;
- количеству путей;
- состоянию (по грузоподъемности).

По назначению мосты бывают: железнодорожные, автодорожные, пешеходные, городские, совмещенные (для железнодорожного и автомобильного транспорта), специальные (для трубопроводов и других коммуникаций).

По статической схеме и характеру работы под нагрузкой различают мосты: балочные (разрезные, консольные, неразрезные), рамные, арочные, висячие, вантовые, комбинированные.

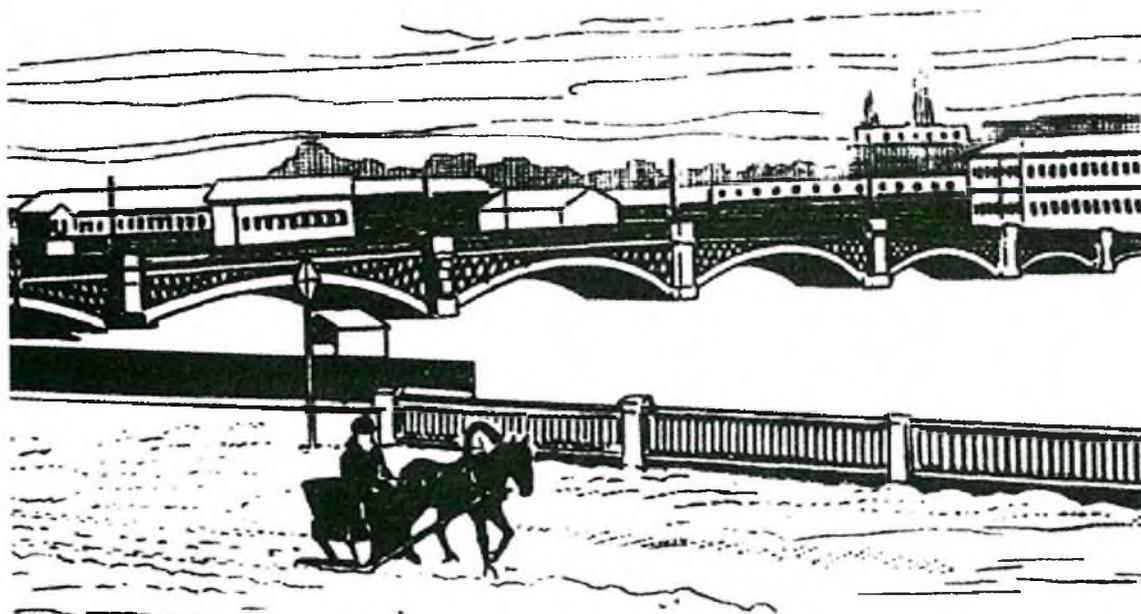


Рис. 1.12. Городской мост через р. Неву с чугунными пролетными строениями (1850 г.)

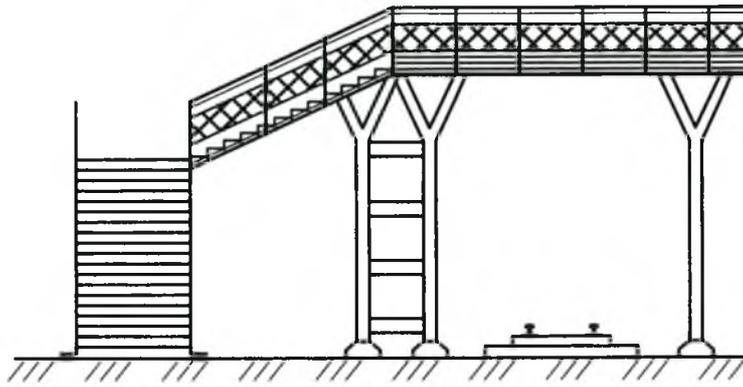


Рис. 1.13. Пешеходный мост

По виду преодолеваемого препятствия: собственно мост (через водоток); путепровод (через другой путь сообщения); эстакада (взамен высоких насыпей); виадук (при пересечении долин, оврагов); акведук (для пропуска водотока по мосту).

По расположению уровня проезжей части относительно несущей конструкции пролетного строения различают мосты с ездой поверху, понизу, посередине.

По материалу мосты бывают: деревянные, каменные, бетонные, железобетонные, металлические, комбинированные (сталежелезобетонные).

По длине мосты делятся на три вида: малые — длиной до 25 м, средние — длиной от 25 м до 100 м и большие — длиной более 100 м.

По числу пролетов различают мосты однопролетные и многопролетные.

По состоянию мосты подразделяются на: исправные, которые используются без ограничения по грузоподъемности, дефектные, состояние которых вызывает ограничения в эксплуатации, и опытные, требующие специального наблюдения.

По конструкции пролетных строений мосты бывают со сплошными балками и со сквозными фермами.

К особой группе относят разводные и наплавные мосты.

Разводные мосты предусматривают возможность пропуска судов за счет поворота, раскрытия или подъема пролетного строения. Низкий уровень проезда по такому мосту позволяет уменьшить стоимость опор и насыпей подхода, а в городах — вписать мост в уровень прилегающих улиц.

Наплавные мосты — это временные мосты, пролетные строения которых опираются на плавучие средства (плашкоуты), составленные из понтонов. Используют их в летний сезон, на зимний период наплавные мосты, как правило, разбираются.

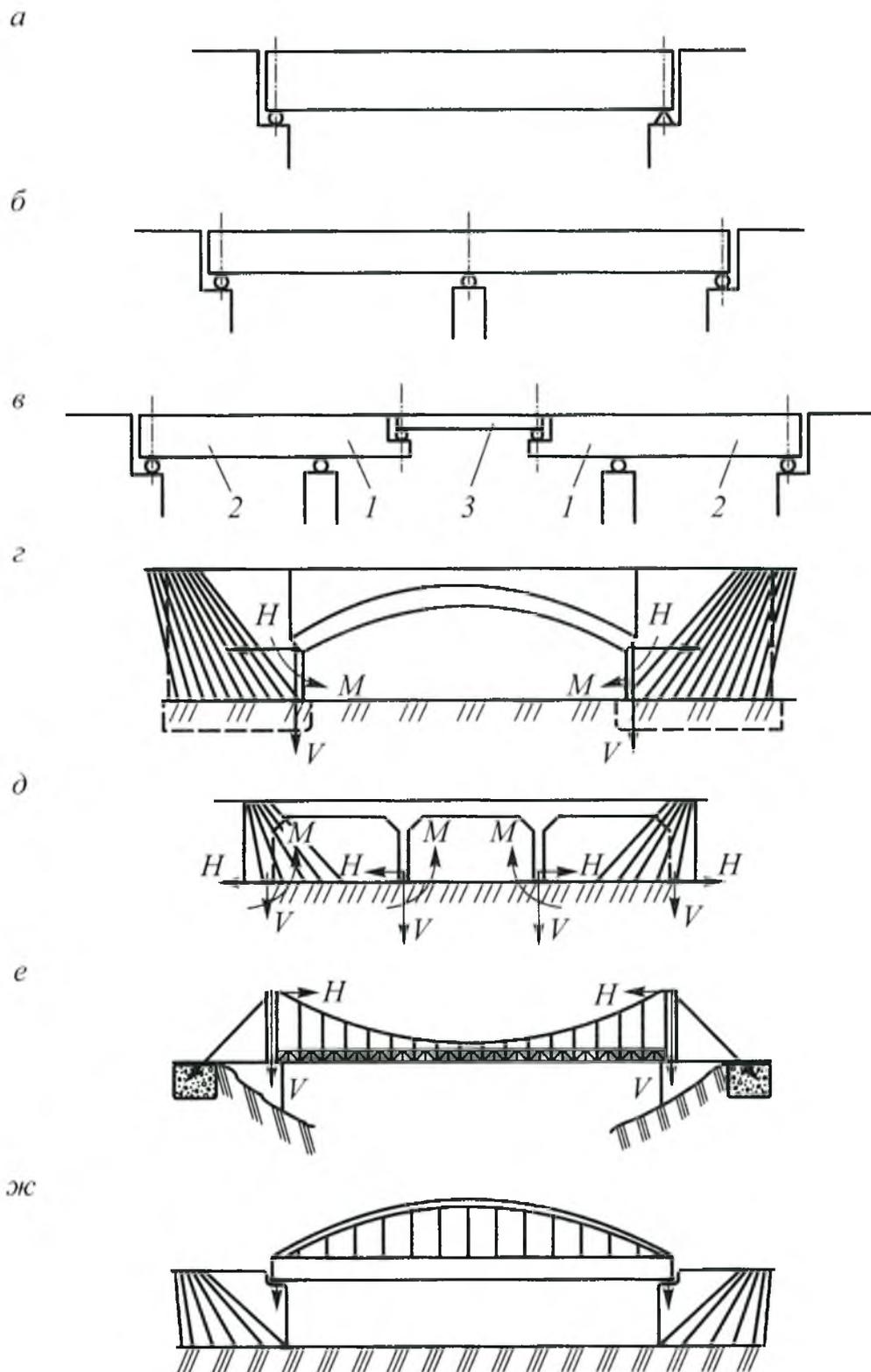


Рис. 1.14. Схемы мостов:

a — однопролетный балочный мост; *б* — двухпролетный неразрезной мост; *в* — трехпролетный консольный мост; *г* — арочный мост; *д* — рамный мост; *е* — висячий мост; *ж* — комбинированный мост; *1* — консоль; *2* — анкерный пролет; *3* — подвесной пролет; H , V — опорные реакции; M — опорный момент

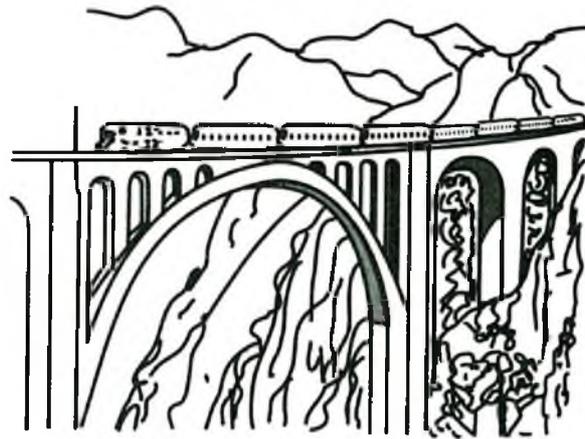


Рис. 1.15. Виадук

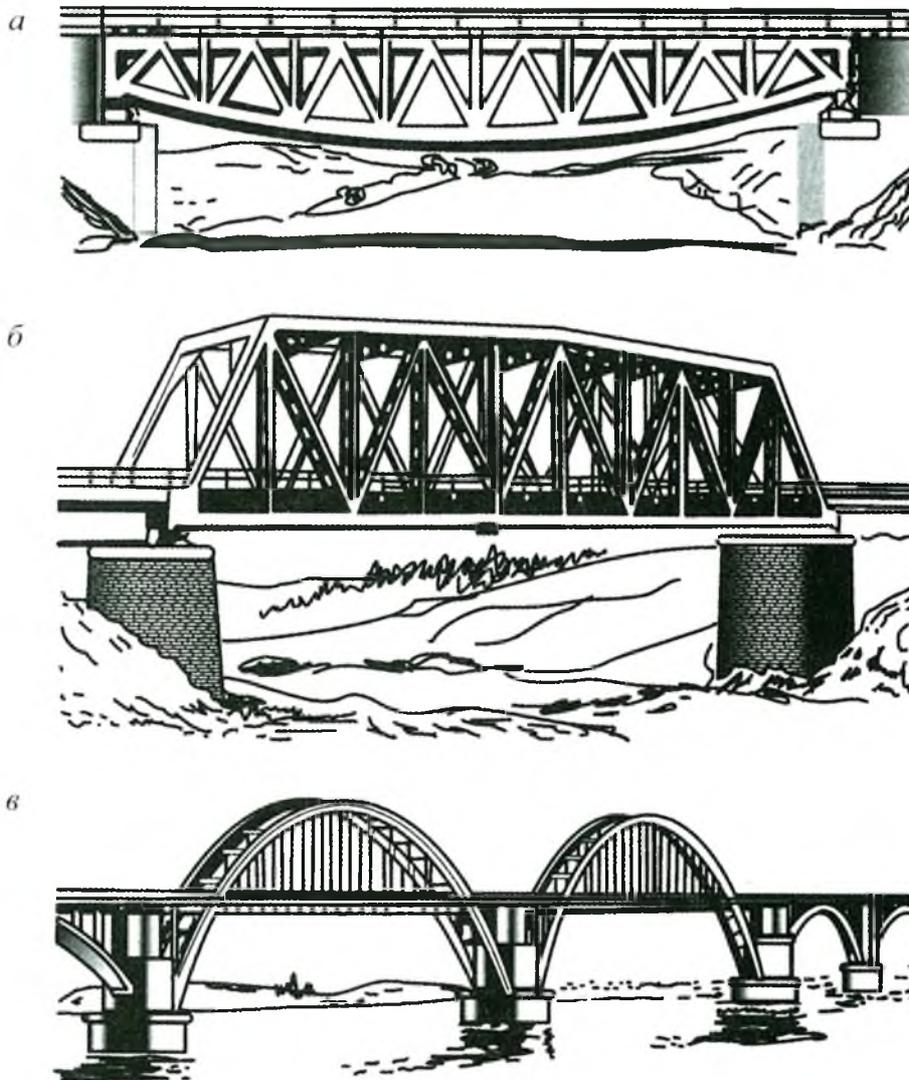


Рис. 1.16. Мосты:
а — с ездой поверху; *б* — с ездой понизу; *в* — с ездой посередине

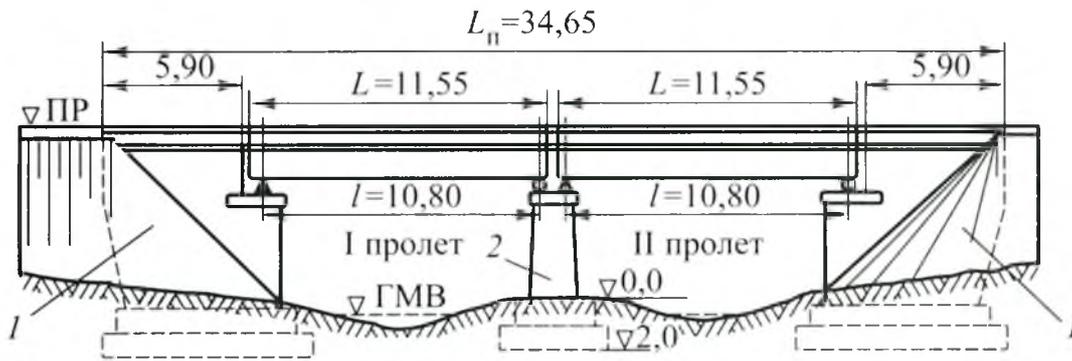


Рис. 1.17. Общий вид железобетонного моста (двухпролетного):
 — устой; 2 — бык; l — расчетный пролет; L — длина пролетного строения;
 L_{II} — полная длина моста; ГМВ — горизонт малых вод; $\nabla 0,0$ — отметка обреза
 фундамента; $\nabla 2,0$ — отметка подошвы фундамента; ПР — подошва рельса

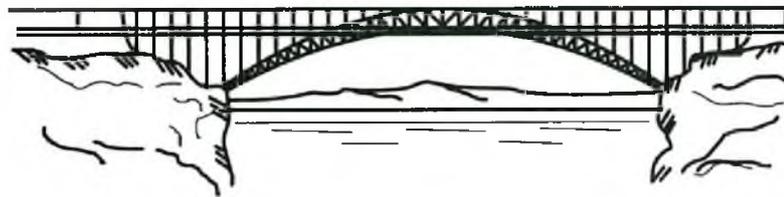


Рис. 1.18. Общий вид металлического арочного моста

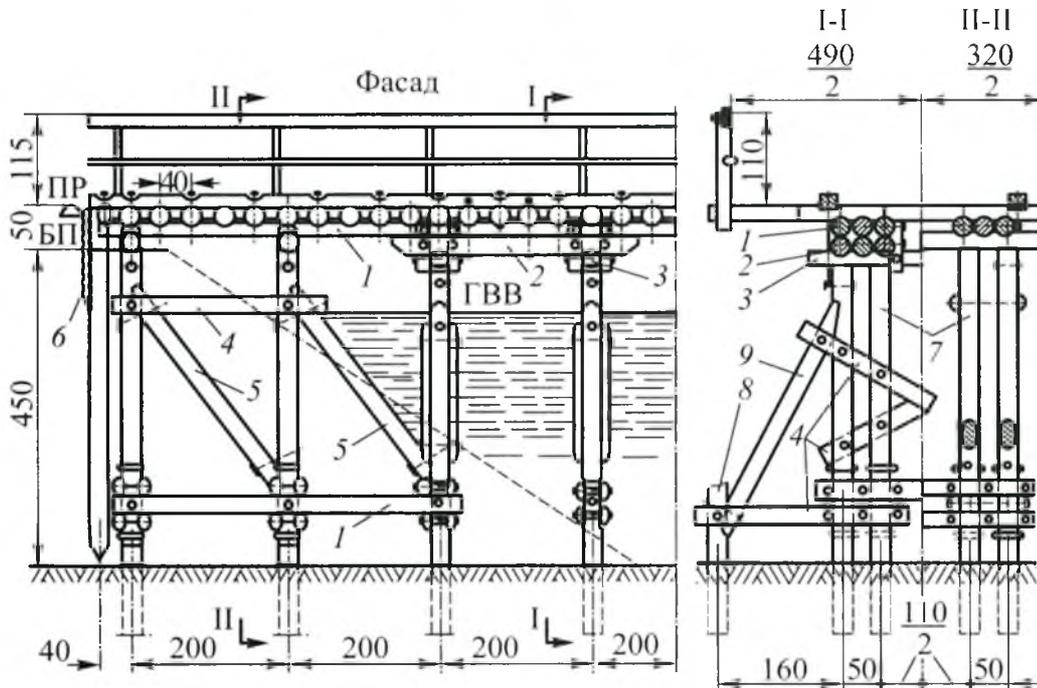


Рис. 1.19. Деревянный балочный мост:
 1 — прогон; 2 — подбалка; 3 — насадка; 4 — схватка; 5 — подкос; 6 — заклад-
 ной щит; 7 — коренная свая; 8 — откосная свая; 9 — укосина

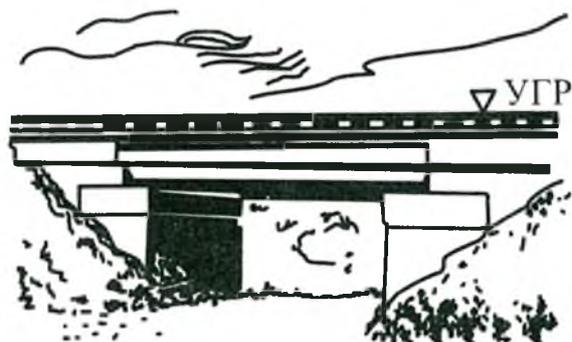


Рис. 1.20. Однопролетный железобетонный мост

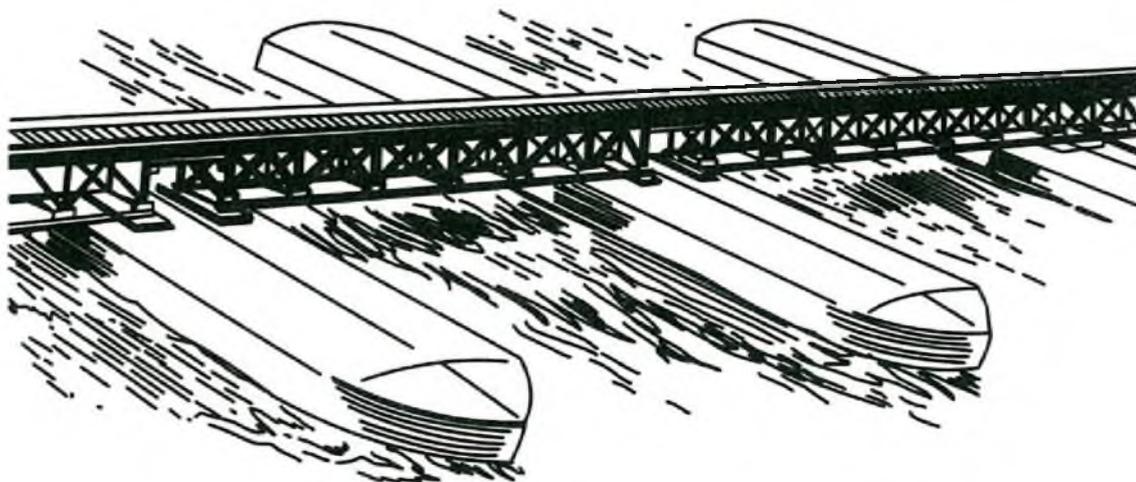


Рис. 1.21. Наплавной мост

1.3. Основные элементы моста

Мост и комплекс связанных с ним сооружений (насыпи подходов, регулирующие сооружения, направляющие водный поток, и берегоукрепительные устройства) называются мостовым переходом. Собственно мост состоит из береговых опор, промежуточных опор и пролетных строений, перекрывающих пространство между опорами и передающих нагрузки от подвижного состава и собственного веса через опоры на грунт основания. На пролетные строения укладывается мостовое полотно, по которому осуществляется движение транспортных средств.

Опоры моста состоят из фундаментов и надземной части (тело опоры). Горизонтальная плоскость, отделяющая фундамент от тела опоры, называется обрезами фундамента. Береговые опоры моста называются устоями, опоры, расположенные между устоями, называются промежуточными опорами или быками (см. рис. 1.22). На быках различают боковые грани, обра-

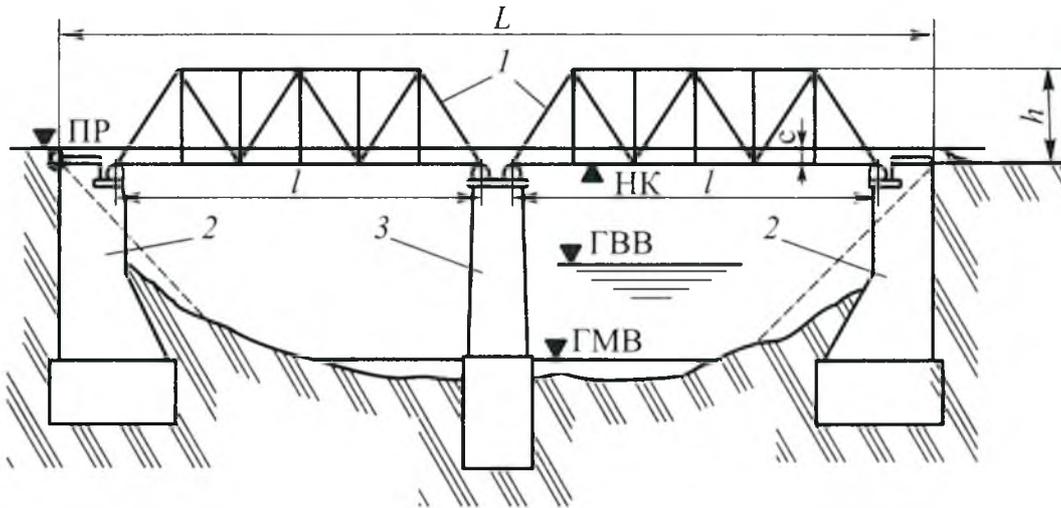


Рис. 1.22. Схема металлического двухпролетного моста со сквозными фермами:
 l — пролетное строение; 2 — устой; 3 — бык; L — полная длина моста;
 l — расчетный пролет; h — высота фермы; $с$ — строительная высота;
 ПР — подошва рельсов; НК — низ конструкции; ГВВ — горизонт высоких вод;
 ГМВ — горизонт меженных вод

щенные в сторону пролетов, носовую сторону, расположенную против течения реки, и кормовую сторону, противоположную носовой.

Устои и быки обеспечивают пролетным строениям заданное положение по высоте и в плане, а также передают нагрузку от пролетных строений на грунт. Давление от пролетных строений передается на опоры через опорные части.

Для размещения опорных частей на опорах устраивают подферменные площадки.

Основными размерами моста являются: водопропускное отверстие, полная длина, расчетный пролет, высота моста, ширина моста.

Водопропускным отверстием называется расстояние в свету между внутренними гранями устоев однопролетного моста, измеренное на уровне расчетного горизонта воды. При нескольких пролетах водопропускным отверстием моста называется расстояние между внутренними гранями устоев за вычетом ширины промежуточных опор, измеренное на уровне расчетного горизонта воды.

Полная длина моста измеряется как расстояние между задними гранями устоев. Полная длина моста складывается из суммы полных длин пролетных строений, зазоров между ними и длины обоих устоев, измеренной от шкафной стенки до задней грани устоя (шкафная стенка устраивается в передней части устоя для ограждения подферменной пло-

щадки). Полная длина пролетного строения равна расстоянию между его концами.

Расчетным пролетом называется расстояние между центрами опорных частей пролетного строения. Расстояние между боковыми гранями двух соседних опор называется пролетом в свету.

Строительной высотой моста называется расстояние от подошвы рельса на мосту до низа конструкции пролетного строения.

Высота моста измеряется от обреза фундамента до подошвы рельса.

Для путепроводов и виадуков высотой является расстояние от обреза фундамента до подошвы рельса. Высота моста измеряется от УМВ до поверхности проезда. Ширина моста зависит от вида и размеров пропускаемых по мосту транспортных средств, количества путей в соответствии с габаритом поезда.

1.4. Краткий исторический очерк развития мостостроения

Считается, что впервые человека навело на мысль соорудить мост случайно упавшее через ручей дерево. Известны естественные каменные мосты, образованные выветриванием и действием воды. Балочные мосты, созданные самой природой, как, например, существую-



Рис. 1.23. Естественный балочный мост в Утахе (США).
Пролет 46 м. Толщина балки посередине 4 м

щий и поныне в Утахе (США) (рис. 1.23), несомненно, могли служить образцом для первобытных каменных мостов из гранитных глыб типа дольменов (дольмен — древнее погребальное сооружение из огромных каменных глыб и плит, сложенных в виде ящика, покрытого плоской плитой; происходит от британского *tol* — стол и *men* — камень). Наиболее ярким примером создания природой монументального сооружения может служить открытый в 1961 г. в Перу гигантский нерукотворный мост из песчаника, зависший над рекующей рекой Кутеберени в труднодоступной теснине горной гряды Анд на высоте 2,3 тыс. м над уровнем моря. Его высота над водой составляет 183 м, длина — 365 м, а ширина может вместить шесть футбольных полей.

На протяжении веков монументальные сооружения строились из камня. Камень — естественный материал, созданный самой природой из минералов и спрессованный на протяжении сотен миллионов лет. Это самый прочный строительный материал. Из камня сложены великие египетские пирамиды, пережившие пять тысячелетий. Достоинства каменных мостов обуславливаются не только их долговечностью, но и гармонией с окружающей природой. Со временем люди научились строить не только рационально, прочно, но и постигли искусство пропорциональных соотношений, которые позволяют вписывать возводимые сооружения в окружающий ландшафт. Большое количество сохранившихся до настоящего времени каменных мостов было построено во времена Древнего Рима (рис. 1.24, *а*, *б*). Выдающимися сооружениями древнеримской архитектуры стали аркады акведуков, поскольку воду в Рим подавали с Альбанских гор с помощью многокилометровых коммуникаций. Строительство водопроводов (акведуков) было делом исключительной важности. Очень много акведуков, фонтанов и других гидротехнических сооружений выполнено в I веке. Гидротехник Фронтин оставил известное сочинение о римских водопроводах. Кроме акведуков, строилось и большое количество мостов через реки.

Так как река служила оборонительным рубежом, мосты строились только в случаях крайней необходимости, в целях снабжения города. Через мост проходили все пути, поэтому со временем на мостах сосредотачивалась бойкая торговля.

На протяжении веков в мостостроении совершенствовались технические способы возведения сооружений, приемы каменной кладки, конструкции кружал, транспортировки строительных материалов, изучались



Рис. 1.24. Примеры каменных мостов, построенных в разные периоды:
а — арки акведука Клавдия (I век н.э.); *б* — мост в Вероне, Италия (II век н.э.);
в — каменный мост в Царицыне (1775—1785 гг.)

грунтовые основания и способы строительства и эксплуатации мостовых опор в воде.

Для большинства каменных мостов характерны полуциркульные своды и большая толщина опор (быков) — от $1/3$ до $1/2$ длины пролета (рис. 1.24, в). Кладка большинства мостов выполнялась насухо из тщательно отесанных камней или на известковом растворе. В более позднее время, наряду с естественным камнем, при строительстве мостов начали применять высокопрочный (клинкерный) кирпич. Более пологие своды, возросшие размеры пролетов и более совершенные очертания изменили облик мостов.

Каменные мосты — арочные мосты, так как вырубить каменные блоки можно только ограниченной величины, которая недостаточна для перекрытия даже небольших пролетов, к тому же камень не способен изгибаться, и тонкая каменная балка или плита при значительной нагрузке сломается в середине пролета. Арка сложена из клинчатых камней, каждый из которых сжат соседними. Это обеспечивает прочность и устойчивость конструкции. Такая конструктивная система — криволинейные своды пролетов, опирающиеся на быки и устои, сохранялась очень долго. Только в XVIII—XIX вв. применение металла (сначала чугуна, позднее прокатных профилей железа и стали, а затем и железобетонных конструкций) привело к развитию многообразных систем мостовых сооружений.

В древности, наряду с каменными, строились и деревянные мосты для пешеходного движения и гужевого транспорта. Одним из древнейших является мост через р. Евфрат в Вавилоне, построенный за 2000 лет до нашей эры. Мост имел длину 300 м, опоры кирпичные, пролеты по 9 м перекрывались деревянными балками. Известен деревянный мост через р. Тибр в Риме, построенный за 630 лет до нашей эры, а также деревянные мосты в Древней Руси, строившиеся при Ярославе Мудром, Владимире Мономахе, Дмитрии Донском. В Древней Руси квалифицированные плотники знали различные способы постройки мостов из дерева с опорами в виде сруба, городней или ряжей, перекрываемых бревенчатыми настилами. Эти конструкции обрабатывались топором, так как пила стала применяться только в XVIII в. Ряжи и городни заполнялись камнем. В последующем ряжевые опоры стали вытесняться свайными; для усиления балок, перекрывающих пролет, стали применяться подбалки и подкосы, что в дальнейшем определило конструкцию подкосных мостов.

Выдающимся проектом в области деревянного мостостроения является проект арочного однопролетного моста через р. Неву в Петербурге полной длиной 312 м, стрела подъема 1:10, пролет моста — 298,6 м. Конструкция оригинальная, опередившая свое время не только размером, но и системой. Этот проект И.П. Кулибина был русским ответом на конкурс однопролетного моста отверстием в 900 футов (274 м), объявленный в то время Лондонской Академией наук. Современников поразила техническая дерзость моста, превосходившего высотой башню Кунсткамеры. Основная конструкция моста состояла из двух пар решетчатых арок. Чтобы доказать реальность проекта, Кулибин сделал модель моста в 1:10 натуральной величины, т.е. длиной более 30 м. Модель была испытана специальной комиссией Академии наук под руководством знаменитого математика Л. Эйлера и выдержала полуторную нагрузку. Проект в силу обстоятельств не был осуществлен, лишь недавно удалось построить деревянные арочные мосты пролетом 140 и 150 метров (за рубежом), а в 1938 году на шведском мосту в Анчермане были собраны арочные кружала пролетом 247 м, что уступает мосту Кулибина, но и эта арка обрушилась во время кладки бетонного свода моста. О модели Кулибина Д.И. Журавский писал: «На ней печать гения; она построена на системе, признаваемой наукой самой рациональной...» Позже система Кулибина была использована в Америке в деревянных мостах с многорешетчатыми фермами из досок; применяется она и сейчас, но под названием «Американские фермы» или фермы Тауна и фермы Гау.

При строительстве Николаевской железной дороги (1842—1851 гг.) получили широкое распространение деревянные фермы типа Гау, которые изготовлялись из деревянных брусьев и металлических тяжей.



Рис. 1.25. Общий вид моста Кулибина. Модель моста опробована Российской Академией наук в 1776 г.

В их конструкцию Д.И. Журавский внес ряд усовершенствований и разработал способ их расчета, в результате они получили название фермы Гау—Журавского (рис. 1.26).

Фермы Гау—Журавского применяют для перекрытия пролетов от 20 до 50 м. Они имеют крестовую решетку. Эти фермы могут быть досчатогвоздевыми. В целях индустриализации изготовления мостовых конструкций желательнее выполнять эти работы в заводских условиях или на полигонах при наименьших объемах ручных работ по обработке дерева. В пролетных строениях системы Гау—Журавского пояса и раскосы деревянные, а стойки — из стальных тяжей. В необходимых случаях, для увеличения надежности ферм в сборных конструкциях, нижний (растянутый) пояс, а иногда и оба пояса делают стальными. Соединение раскосов с поясами в фермах Гау—Журавского способно передавать только сжимающие усилия. Под действием постоянной нагрузки и при полном загрузении всей длины фермы временной (поездной) нагрузкой на

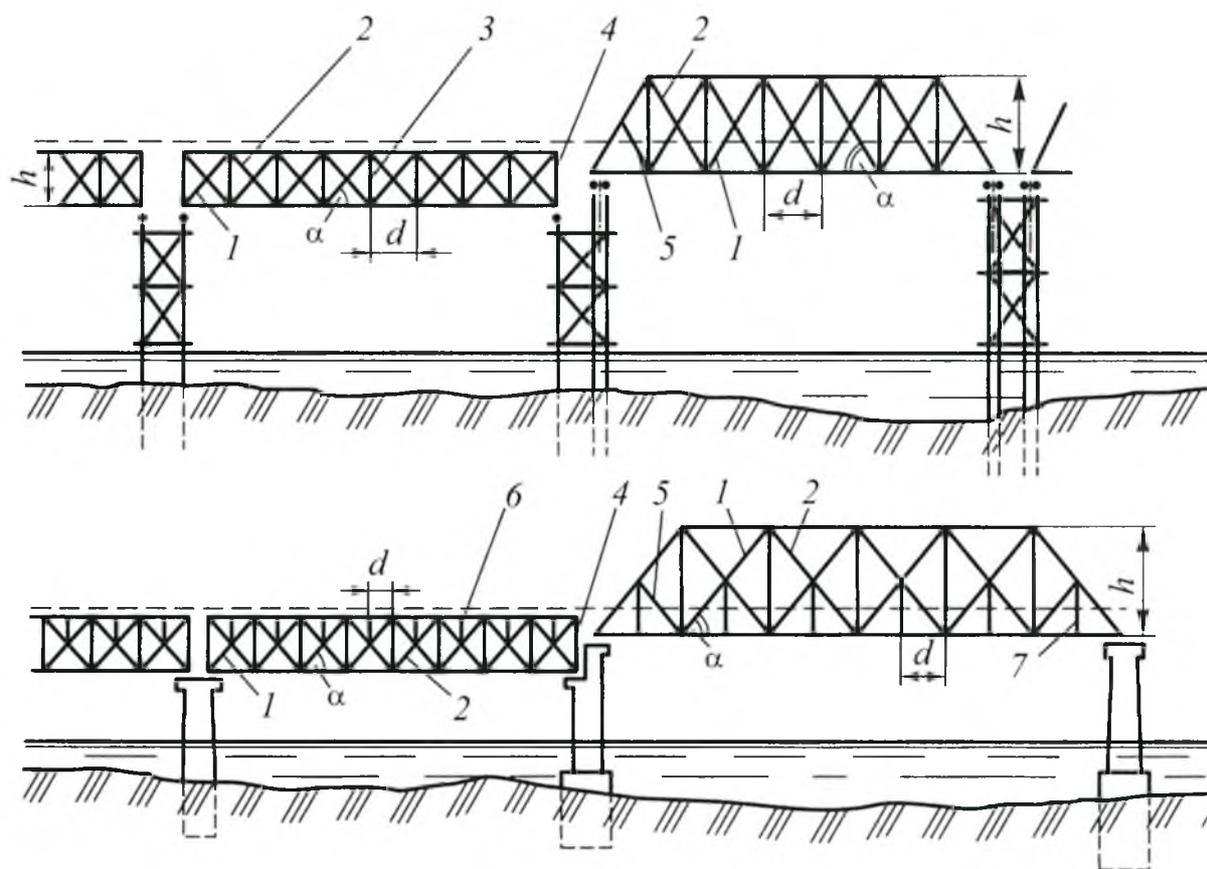


Рис. 27. Схемы мостов с пролетными строениями системы Гау—Журавского:
 1 — основной раскос; 2 — обратный раскос; 3 — стальной тяж; 4 — опорная стойка; 5 — дополнительный полураскос; 6 — дополнительная стойка;
 7 — дополнительный тяж

сжатие работают восходящие раскосы, являющиеся основными, и встречные (обратные) раскосы. Так как раскосы ферм Гау—Журавского всегда работают только на сжатие, то в стойках всегда возникают только растягивающие усилия, что позволяет их делать из стальных тяжей.

Деревянные мосты строятся и теперь в сельской местности северных районов страны, как правило, на свайных, рамно-свайных опорах или на бревенчатых срубах. Применяются они и как временные сооружения, например, для быстрого восстановления мостов на фронтах Великой Отечественной войны 1941—1945 гг.

Новая эра в мостостроении началась с появлением новых строительных материалов: металла и железобетона.

Усилиями славной плеяды известных ученых и инженеров российская школа мостостроения уже в XIX в. заняла одно из ведущих мест в Европе. Россия первая перешла на широкое применение литого железа в качестве основного конструкционного материала для мостов вместо чугуна и сварочного железа.

Начавшееся в России строительство железных дорог способствовало широкому распространению балочных систем, наиболее подходящих для железнодорожных мостов. Российские инженеры С.В. Кербедз, Н.А. Белелюбский и Л.Д. Проскуряков основные усилия направили на поиск новых конструктивных решений и методов расчета, которые бы позволили эффективно использовать материалы, усовершенствовать технологию изготовления элементов и упростить производство работ. Если заслугой Д.И. Журавского является разработка и применение в России сквозных неразрезных деревянных ферм, то С.В. Кербедз был первым, применившим металлические фермы. Ферма с чугунными раскосами двух направлений, железными поясами и стяжными болтами была спроектирована С.В. Кербедзом в 1850 г. для разводной части моста через р. Неву. Железные балки со сплошной стенкой использовались в 1853 г. на разводной части Киевского висячего моста через р. Днепр. Мост со сквозными железными фермами строится впервые С.В. Кербедзом в 1853—1857 гг. на Варшавской железной дороге через р. Лугу. Это был самый совершенный в Европе по тому времени мост с металлическими фермами решетчатой системы. Два неразрезных пролета этого моста, каждый по 55,2 м, имели оригинальную конструкцию из коробчатых поясов со сквозной решеткой.

Прямым продолжателем Кербедза в области мостостроения был Николай Апполонович Белелюбский. По его проектам построено более

100 мостов, а общая длина запроектированных им мостов превышает 17 км. Интенсивное строительство железных дорог в конце XIX и начале XX в. сопровождалось строительством большого числа искусственных сооружений. Построены уникальные мосты, крупнейшие в Европе, через р. Волгу у Сызрани, через реки Иртыш, Ишим, Белую, Тобол, Обь, Енисей, Бузан, Неву, Амур и др. Только на Транссибирской магистрали было построено более 3000 металлических мостов, более 2700 деревянных и более 230 каменных. О многих из этих мостов можно сказать — первый мост в Европе (мире) по протяженности, величине перекрываемого пролета, глубине опускания кессонов, уникальности способов производства работ.

Начало XX в. знаменуется внедрением нового конструкционного материала для мостов — железобетона. В 1913 г. появились первые проекты балочных мостов из сборного железобетона под железную дорогу. В условиях нехватки металла железобетон в эти годы отвоевывает позиции у стали даже для перекрытия больших пролетов.

В 1930-е гг. в отечественном мостостроении началось применение электросварки. Инициаторами внедрения электросварки в мостостроение были академики Е.О. Патон и Г.П. Передерни. Первый железнодорожный мост со сварными фермами пролетом 12 м был построен в России в 1932 г. Мост лейтенанта Шмидта — первый крупный цельносварной мост в России (1939 г., Ленинград). Вторая мировая война нанесла громадный урон мостовому хозяйству России. Восстановление мостов велось в основном за счет применения металлических пролетных строений. Дефицит металла и слабые производственные мощности заводов металлоконструкций побуждали к более широкому использованию железобетона. На начальном этапе применялись в основном монолитные пролетные строения, их пролеты не превышали 15 м, редко доходили до 27 м. Большие объемы строительства требовали новых типов пролетных строений, способов их изготовления и монтажа, отвечающих требованиям скоростного строительства. Этому в наибольшей степени соответствовали сборные типовые пролетные строения, изготавливаемые индустриальным способом. В конце 1940-х — начале 1950-х гг. в России внедряются идеи предварительного напряжения железобетонных конструкций, приведшие к созданию струнобетона. Появление предварительно напряженных конструкций открыло новые возможности для использования железобетона в мостах больших пролетов.

Уникальным на долгие годы стал автодорожный мост через р. Волгу в Саратове общей длиной 2804,4 м и схемой разбивки на пролеты $4 \times 20 + 106 + 3 \times 166 + 106 + 26 \times 70 + 520$ м. Ширина проезжей части моста 12 м (рис. 1.27).

При строительстве железнодорожных мостов железобетон широко применяется в балочных типовых пролетных строениях с пролетами до 33 м. В 1960-е гг. строится много больших мостов через реки Волгу, Оку, Каму, Иртыш, Чумыш, Иню, Северную Двину и др., в том числе и на двухпутных участках, которые дополняют и сменяют старые пролетные строения. В ряду крупных, уникальных по конструкции и способам производства работ можно выделить железнодорожные мосты через р. Волгу у Астрахани, в Горьком и Ярославле, через р. Каму у Сарапула, р. Сев. Двину в Архангельске.

В начале 1960-х гг. для железнодорожных мостов появился новый тип балочных пролетных строений со сплошной стенкой. Разработаны типовые проекты таких пролетных строений с пролетами до 66 метров.

Строители Байкало-Амурской магистрали (1974—1989) повторили путь российских первопроходцев — мостостроителей Великого Сибирского пути, возведя более 1200 искусственных сооружений, из них более 370 больших и средних мостов через полноводные и строптивные реки Сибири, топи и болота. На БАМе почти все средние и большие мосты — металлические, что объясняется неблагоприятными климатическими условиями для производства железобетонных работ. Но это уже другие металлические мосты. Ушли в прошлое клепаные пролетные строения. Пролеты 33—55 м перекрываются сплош-



Рис. 1.27. Мост через Волгу у Саратова из сборного железобетона (1965 г.)

ностенчатыми балками, которые, правда, менее экономичны по расходу металла, чем сквозные фермы, но зато и менее трудоемки в изготовлении и монтаже.

Современные сквозные пролетные строения представляют собой фермы с простой треугольной решеткой со стойками и подвесками, с параллельными поясами. Такие пролетные строения используются для перекрытия больших пролетов.

В настоящее время на железных дорогах России эксплуатируется около 12 000 металлических мостов, в том числе 3500 мостов, построенных по нормам 1907 г. и более ранним. Большие изменения произошли в области фундаментостроения и возведения опор мостов. До середины XX в. фундаменты опор больших и средних мостов глубокого заложения, сооружались с помощью кессонов или опускных колодцев. Этот способ — самый надежный, однако очень трудоемкий, а кессонный способ еще и вреден для здоровья людей. На устройство фундаментов кессонным способом приходится примерно половина затрат времени, труда и денежных средств от общих затрат на все сооружение. С 1960-х гг. опоры глубокого заложения сооружаются в основном на сваях-оболочках, представляющих собой цилиндрические конструкции диаметром 0,6—5 м, принудительно погружаемые в грунт мощными вибраторами. Изменились и конструкции надфундаментной части опор. Методы скоростного индустриального строительства породили множество проектов сборных опор из мелких и крупных сплошнотелых, коробчатых и двутавровых блоков, из свай-оболочек и др. Надежность конструкций современных опор и фундаментов позволяет отказаться от устройства ледорезов. Конец XX в. для мостостроения стал периодом совершенствования технологий и перехода на индустриальные методы строительства.

Мосты — это лицо эпохи. Лицо России в этом смысле весьма привлекательно. В последние годы ушедшего XX в. построено много уникальных мостовых переходов: через р. Амур в Хабаровске, р. Обь у с. Барсово, р. Каму в Перми, в городах Астрахани, Барнауле, Волгограде, Казани и др.

Уже в недалеком будущем мостостроителям России предстоит возвести мостовые переходы через р. Иртыш у Ханты-Мансийска, р. Амур у Благовещенска, р. Обь у Салехарда, р. Бузай у Астрахани, р. Лену у Якутска, через бухту «Золотой рог» во Владивостоке, а возможно, и через проливы Невельского, Керченский, Лаперуза, Берингов и др.

1.5. Основные положения проектирования мостов и труб

При проектировании новых искусственных сооружений необходимо выполнять основные требования СНиП по обеспечению надежности, долговечности и бесперебойной эксплуатации сооружений, соблюдению безопасности и плавности движения, созданию благоприятных условий работы водопропускных сооружений (пропуску паводка, ледохода) и предотвращению возможности размыва и затопления земляного полотна. Большие мосты должны удовлетворять требованиям судоходства.

Разработке проектов мостов предшествует технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства. На основе ТЭО определяется направление трассы, место перехода, габариты проезда, этапность сооружения и другие исходные данные, которые должны быть положены в основу проекта. Важными для проектирования моста являются результаты технико-экономических изысканий мостового перехода. На основе данных изыскательской партии, трассирующей дорогу, организация, проектирующая мост, проводит дополнительные исследования с целью получения более подробной и разносторонней информации, позволяющей обоснованно проектировать сооружение, а также организацию и производство работ по его строительству. Такими изысканиями выявляются топографические и геологические условия, режим водотока, климатические условия и др.

К исходным данным относят также габариты проезда, приближения строений и подмостовые габариты судоходства, нормативные нагрузки для проектируемого сооружения.

В разрабатываемых проектах должны использоваться сборные конструкции, детали и материалы, отвечающие действующим стандартам и техническим условиям.

Организация строительства искусственных сооружений осуществляется на основании технической документации (чертежей, расчетов, сметы, пояснительной записки), имеющей общее название — проект сооружения. Малые и средние сооружения проектируются в одну стадию — технорабочий проект. Для более крупных сооружений проект разрабатывается в две стадии: технический проект, который показывает техническую возможность и экономическую целесообразность данного строительства, и рабочая документация (проект), которая составляется в объе-

ме и составе, необходимом для организации строительства современными индустриальными методами.

Для наиболее объективного обоснования принимаемого решения рассматриваются различные варианты сооружения. Чтобы сравнить разработанные варианты, определяется их строительная стоимость, для чего необходимо определить объемы работ по вариантам. Помимо строительной стоимости, учитываются эксплуатационные расходы. В результате всестороннего анализа и сравнения вариантов выбирают оптимальный вариант.

Наряду с обоснованием принимаемых конструктивных решений, в состав проекта входит проект организации строительства (ПОС). В нем приводятся общие сведения по объемам работ и потребным материалам и оборудованию, принципам организации строительства, выявляются сроки строительства. Кроме того, выполняются расчеты и рабочие чертежи, входящие в состав проекта производства работ (ППР), по всем необходимым вспомогательным устройствам.

1.6. Общие сведения о расчете сооружений

С 1962 г. для мостов и труб принята методика расчета по предельным состояниям. По этой методике предельным состоянием конструкции называется такое ее состояние, при котором дальнейшая нормальная эксплуатация сооружения оказывается невозможной. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200-62) различают три предельных состояния:

- первое предельное состояние — по несущей способности (прочности, устойчивости, выносливости и др.); при достижении этого состояния конструкция теряет способность сопротивления внешним силам и получает такие остаточные изменения, которые не допускают ее дальнейшей эксплуатации.
- второе предельное состояние — по деформациям; в этом случае при сохранении прочности и устойчивости появляются такие общие деформации (перемещения, осадки, колебания), которые исключают дальнейшую эксплуатацию конструкции.
- третье предельное состояние — по местным повреждениям (образованию трещин), которые затрудняют нормальную эксплуатацию конструкции.

Расчет по первому предельному состоянию производится с использованием формул вида:

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| - на прочность | $\frac{N}{F} \leq R;$ |
| - на устойчивость формы | $\frac{N}{\phi^* F} \leq R;$ |
| - на выносливость | $\frac{N}{F} \leq \gamma R,$ |

где N — расчетное воздействие (нормальная сила, момент и пр.), зависящее от нормальных нагрузок, умноженных на соответствующие коэффициенты: n — перегрузки и $1+\mu$ — динамический коэффициент;

F — геометрическая характеристика сечения (площадь, момент сопротивления и пр.);

ϕ — коэффициент понижения несущей способности (коэффициент продольного изгиба);

$R = m_1 k^* R^H$ — приведенное (условное) расчетное сопротивление, где m_1 и k — коэффициенты условий работы и однородности; R^H — нормативное сопротивление материала.

Расчеты по первому предельному состоянию на прочность (устойчивость формы) обязательны для всех мостов и труб и производятся с применением системы расчетных коэффициентов: n — коэффициент перегрузки к нормативным нагрузкам (или усилиям); k — коэффициент однородности материала; m — коэффициент условий работы.

Временная подвижная вертикальная нагрузка учитывается с динамическим коэффициентом $1+\mu$.

Коэффициенты n , k и m вводятся в расчеты для предотвращения наступления первого предельного состояния. Установленные значения коэффициентов относятся к условиям эксплуатации, материалам и конструкциям, отвечающим требованиям действующих правил эксплуатации, ГОСТов и других нормативных документов.

Расчеты по второму предельному состоянию производятся для пролетных строений (по величине вертикального прогиба, периода свободных вертикальных и горизонтальных колебаний, угла перелома упругой линии) и для опор (по величине осадок и смещений).

Расчеты по третьему предельному состоянию производятся по раскрытию или появлению трещин в железобетонных элементах конструкций.

В расчетах по второму и третьему предельным состояниям коэффициенты перегрузки и динамический коэффициент не учитываются.

Нагрузки должны приниматься при расчетах в наиболее невыгодных из всех возможных при эксплуатации и строительстве положениях и сочетаниях для отдельных элементов или частей сооружения.

Метод расчета мостов и труб по предельным состояниям более экономичен по сравнению с применявшимся ранее методом, при котором определялись напряжения и деформации от силовых воздействий и сравнивались с допускаемыми напряжениями и деформациями, установленными для данного материала конструкций. Коэффициент запаса прочности определялся как отношение временного сопротивления материала к допускаемым напряжениям от расчетной нагрузки. Для металлических мостов коэффициент запаса принимался в пределах от 2,2 до 3,0, что влекло за собой большой перерасход материала.

При расчете конструкций мостов и труб согласно техническим условиям (ТУ) учитываются следующие нагрузки и воздействия:

- *постоянные нагрузки*: собственный вес конструкции, давление грунта, гидростатическое давление воды, воздействие предварительного напряжения и усадки бетона.

- *временные нагрузки*: подвижные вертикальные нагрузки (от подвижного состава), центробежная сила, горизонтальные поперечные удары от подвижной нагрузки, горизонтальная продольная нагрузка от торможения и силы тяги.

- *прочие временные нагрузки и воздействия*: ветровая, ледовая, воздействия колебаний температуры, трения в опорных частях, сейсмическая.

Сочетания нагрузок, учитываемых при расчете и различающихся по вероятности их одновременного воздействия, различаются на основные, дополнительные и особые.

Постоянная вертикальная нагрузка определяется по проектным спецификациям, объемам или объемным весам материалов конструкций. Временная вертикальная нагрузка увеличивается от подвижного состава железных дорог с одного пути.

1.7. Габариты

Поперечные размеры конструкций пролетных строений зависят от вида и размеров пропускаемых по мосту транспортных средств. Железнодорожные мосты устраивают для укладки одного, двух или нескольких параллельных путей. Исходя из этого ширина пролетных строений

определяется габаритом проезда, установленного для данного вида транспорта. Габарит проезда определяет контур, в пределах которого обеспечивается беспрепятственный и безопасный пропуск транспортных средств. На железнодорожном транспорте с нормальной шириной колеи 1520 мм конструкция всех вновь строящихся или переустраиваемых сооружений, в том числе и мостов, должна удовлетворять габариту «С» — приближения строений (рис. 1.28). Габаритом приближения строений называется предельное перпендикулярное оси пути очерченное пространство (контур), внутрь которого не должны заходить никакие элементы или части сооружений. Безопасность движения обеспечивается соблюдением габарита «С» и габарита «Т». Габарит «Т» — габарит подвижного состава — это предельный, поперечный перпендикулярный оси пути контур, за пределы которого не должны выступать никакие части (элементы) подвижного состава.

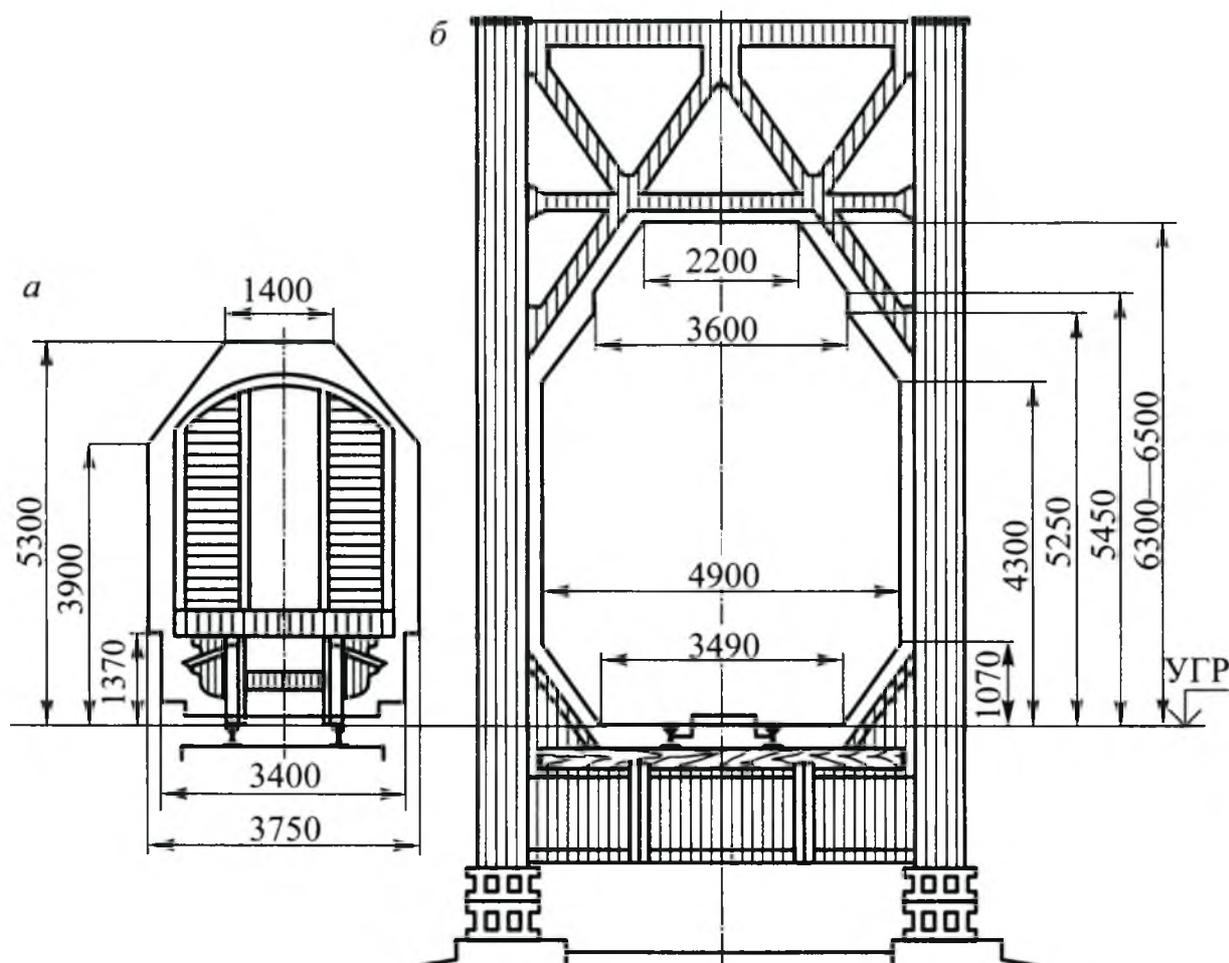


Рис. 1.28. Железнодорожные габариты:
a — подвижного состава; *б* — приближения строений

Наряду с габаритами проезда по мосту, определяющими ширину конструкций пролетных строений, существуют подмостовые габариты, которые устанавливают размеры судоходных пролетов (рис. 1.29). С 1 января 1987 г. они определяются ГОСТ 26775-85. Подмостовой габарит в судоходных пролетах — это минимальное предельное поперечное, перпендикулярное оси судового хода, очертание подмостового пространства, предназначенное для пропуска судов, судовых и плотовых составов, внутрь которого не должны заходить никакие элементы моста (в том числе и элементы фундаментов) и расположенные на них устройства, включая навигационные знаки. Очертания и размеры подмостовых габаритов судоходных неразводных и разводных пролетов определяются в зависимости от класса внутреннего водного пути. Надводная высота подмостового габарита должна отсчитываться от расчетного судоходного уровня воды (РСУ), а гарантированная глубина судового хода — от наименьшего (меженного) уровня воды (НСУ). Очертание подмостового габарита должно быть прямоугольным. На пролетных строениях и опорах судоходных пролетов мостов должны размещаться сигнальные навигационные знаки и огни в соответствии с ГОСТ 26600-85.

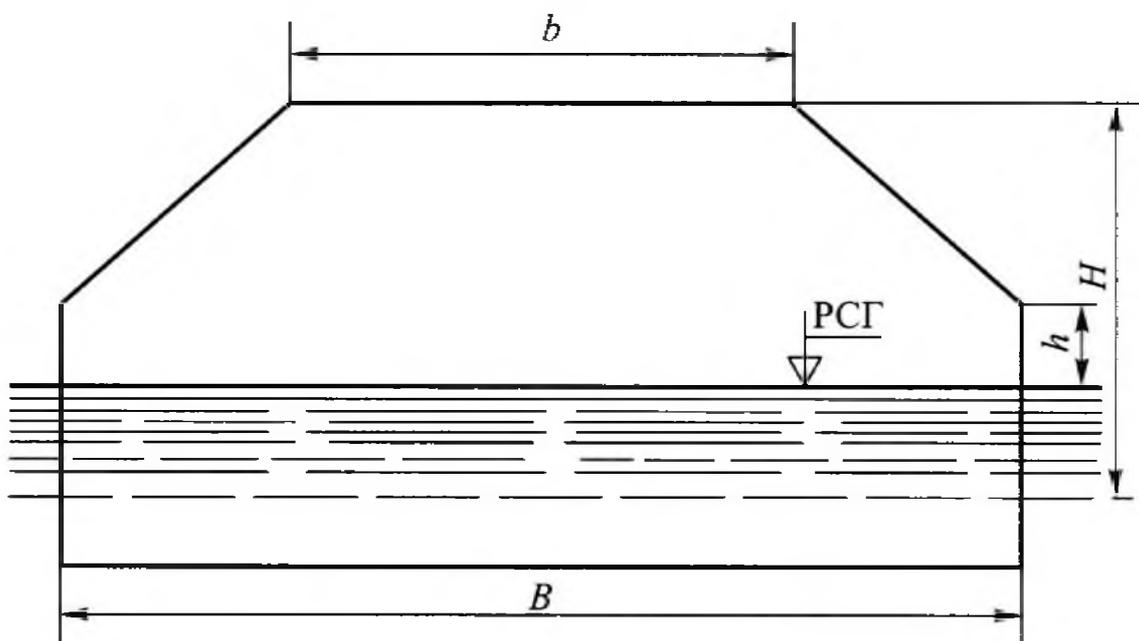


Рис. 1.29. Подмостовые габариты:

РСГ — расчетный судоходный горизонт воды; H — высота габарита в средней части судоходного пролета; h — высота габарита у опор; B — ширина габарита на уровне меженного судоходного горизонта; b — протяжение повышенной части габарита (для водных путей I, II, и III класса $b = 2/3 B$)

Согласно существующим нормам, все внутренние водные пути, используемые для судоходства и сплава, разделяются на 7 классов. Ширина подмостового габарита определяется на уровне наинизшего межечного судоходного горизонта (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Подмостовой габарит в м

| Класс внутренних водных путей | Высота габарита в средней части (H) | Высота габарита у опор (h) | | Ширина габарита (B) | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Постоянные мосты | Временные мосты | Мосты постоянные | | Мосты временные для обоих направлений |
| | | | | для пролетов низового направления | для пролетов взводного направления | |
| I | Не менее 13,5 | Не менее 5,0 | — | Не менее 140 | Не менее 120 | — |
| II | 12,5 | 4,0 | — | 140 | 100 | — |
| III | 10,0 | 3,5 | — | 120 | 80 | — |
| IV | 10,0 | 2,5 | 1,5 | 80 | 60 | 50 |
| V | 7,0 | 2,0 | 1,5 | 60 | 40 | 30 |
| VI | 3,5 | 1,5 | 1,0 | 40 | 20 | 20 |
| VII | 3,5 | 1,0 | — | 40 | 10 | — |

Глава 2

МОСТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И МАЛЫЕ ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

2.1. Общие сведения о водотоках

Все водотоки подразделяются на два вида: постоянные и временные (периодические). Постоянные водотоки — это реки, ручьи, каналы, заливы, проливы. Временные или периодические водотоки несут только поверхностные воды, т.е. воды, выпавшие в виде атмосферных осадков — дождя или снега.

Вся территория, с которой вода стекает в реку (или ручей), называется водосбором или бассейном данного водотока (рис. 2.1). Границами бассейна являются водоразделы. Водоразделом называется линия, проходящая по наивысшим точкам рельефа. Водоток образует русло — относительно узкий и наиболее пониженный участок долины. Линия, соединяющая наинизшие точки долины, называется логом или тальвегом.

Начало реки (ручья) называется истоком, а часть водотока, расположенная в месте его впадения в озеро или другой водоток, называется устьем. Если устье имеет разветвленную сеть проток, то оно называется дельтой. Истоки и устье находятся на разных уровнях, и разность их высот, деленная на расстояние между ними, определяет средний уклон водотока. Пониженная часть долины, прилегающая к берегам и периодически затопляемая при повышении уровня воды в водотоке, называется поймой, наиболее глубокие участки русла — плесами, а наиболее мелководные — перекатами.

Реки или их участки подразделяются на три типа:

- равнинные реки (участки);
- предгорные реки;
- горные реки.

Равнинные реки протекают в относительно неглубоких и широких долинах с пологими склонами, они характеризуются небольшими продольными уклонами (не более 0,5 ‰), медленным течением (средняя

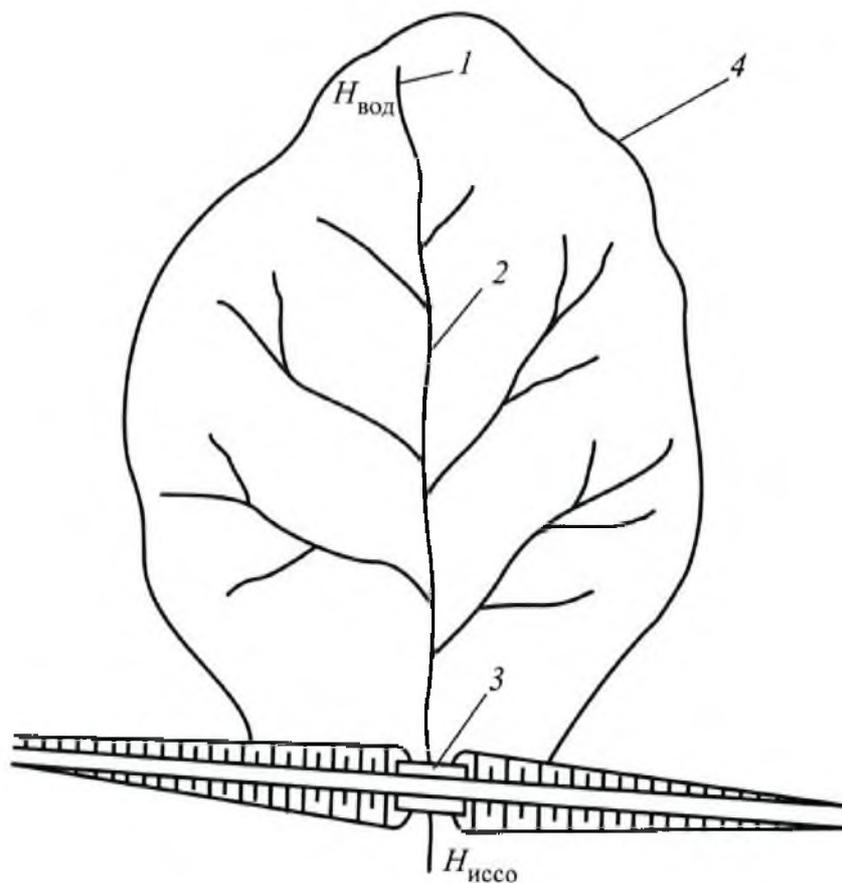


Рис. 2.1. Бассейн водотока:

1 — исток водотока; 2 — тальвег; 3 — искусственное сооружение на дороге; 4 — граница водосбора; $H_{\text{вод}}$ — отметка на водоразделе; $H_{\text{иссо}}$ — отметка у искусственного сооружения; $\Delta H = H_{\text{вод}} - H_{\text{иссо}}$; ΔH — перепад высот

скорость течения воды в русле во время паводка составляет 1—2 м/с), извилистостью русла в плане.

Предгорные реки имеют более узкие долины, рельеф бассейна холмистый, продольный уклон русла изменяется в пределах от 0,5 до 5 ‰. Средняя скорость течения воды во время паводка от 1,5 до 3,0 м/с.

Горные реки протекают в узких долинах, которые часто приобретают характер ущелий (каньонов) с очень крутыми склонами. Пойма отсутствует. Рельеф бассейна — горный. Продольный уклон таких рек от 5 до 50 ‰ с высокими скоростями течения воды от 2,5 до 5 м/с.

Смоченная водой часть поперечного сечения водотока, перпендикулярного направлению струй, называется живым сечением. Через живое сечение определяется важнейшая характеристика водотока — расход воды.

Расходом воды называется количество воды, протекающее через живое сечение водотока в единицу времени.

Расход воды для постоянных водотоков определяется по формуле

$$Q = \omega \cdot v (\text{м}^3/\text{с}),$$

где Q — расход воды в $\text{м}^3/\text{с}$;

ω — площадь живого сечения в м^2 ;

v — скорость течения воды в $\text{м}/\text{с}$.

Расход воды для периодических водотоков определяется по специально разработанному методу ЦНИИС — СоюздорНИИ, который учитывает все факторы, влияющие на величину стока:

- метеорологические условия района;
- размеры и очертания бассейна в плане;
- расчлененность бассейна внутренними водоразделами на бассейны второго порядка;
- величину продольного уклона лога и склонов бассейна;
- впитывающую способность почв;
- задерживающую способность бассейна;
- хозяйственную деятельность человека на территории бассейна.

Сток поверхностных вод по своему происхождению может быть двух видов: ливневой, возникающий в результате сильных дождей, и снеговой, образующийся в результате весеннего снеготаяния.

По методу ЦНИИС — СоюздорНИИ определяется расход ливневого стока и стока от снеготаяния, и по большему из них производится расчет отверстий искусственных сооружений.

СНиП установлено, что гидравлические расчеты мостов и труб должны осуществляться на пропуск двух расходов воды: расчетного (Q_p) повторяемостью один раз в 100 лет и максимального (Q_{\max}) со средней повторяемостью один раз в 300 лет. Для обеспечения безопасности движения поездов СНиП предусматривают необходимость возвышения бровки насыпи у малых мостов и труб не менее чем на 0,5 м над подпертым уровнем воды перед сооружением при максимальном расходе.

Для наблюдения за уровнем воды на всех мостах и трубах устанавливают водомерные рейки с верховой стороны в доступных местах. Иногда сантиметровые деления наносят несмываемой краской на одной из граней массивной опоры или на оголовке трубы. На больших мостах наблюдения за колебанием уровня воды в реке ведутся водомерными постами. Результаты наблюдений наносят на график.

Наличие размыва дна реки и подмыва опор устанавливают промерами. Размыв русла может происходить во время прохода высоких вод, когда ско-

рость течения возрастает. Кроме периода паводков, русло промеряют два раза в год: в зимнее время (обычно со льда) перед вскрытием реки и весной после спада высоких вод. Помимо промеров русла и наблюдением за горизонтом воды, ведут наблюдение за скоростью течения и образованием водоворотов, направлением струй главного потока и пойменных вод.

Глубина русла реки измеряется по трем створам: по продольной оси моста и на расстоянии 25 м от оси вверх и вниз по течению реки. Для возможности сравнения глубины промеряют всегда в одних и тех же местах.

Положение створов вне продольной оси моста закрепляется свайками, забиваемыми на обоих берегах. Расстояния между точками промеров глубин в каждом створе берутся такие, чтобы можно было четко выявить конфигурацию дна русла. Промеры глубин по оси моста при небольшой его высоте производятся непосредственно с пролетного строения. Промеры по другим профилям (выше и ниже моста) выполняются с лодки; зимой глубину русла промеряют со льда через проруби (лунки). Результаты промеров русла обрабатывают в виде графика с нанесением отметок горизонта воды, подошвы рельса, низа ферм, заложения фундаментов опор, абсолютных отметок русла. На каждый график наносят результаты предыдущего промера, а при наличии размыва составляется сводный график за ряд лет (рис. 2.2).

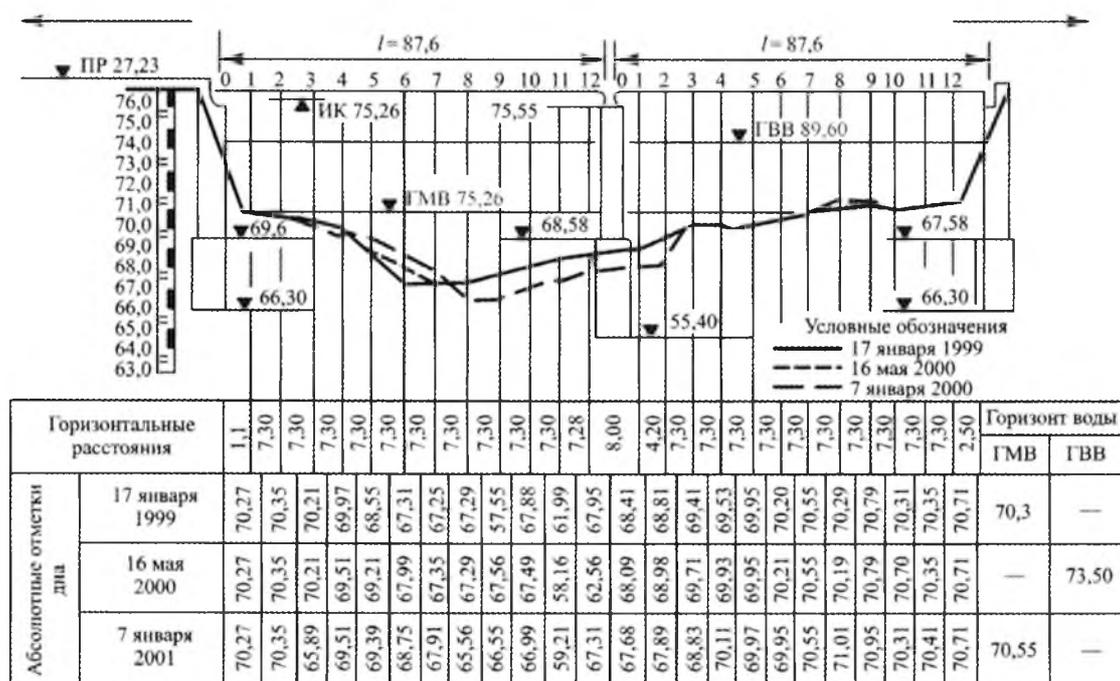


Рис. 2.2. График промеров русла водотока

2.2. Элементы мостового перехода

На пересечении постоянного водотока железной дорогой строится комплекс инженерных сооружений, называемый мостовым переходом (рис. 2.3). Мостовой переход включает в себя:

- мост, перекрывающий русло реки, и при низком уровне воды — часть поймы;
- подходы к мосту, состоящие из земляных насыпей, иногда выемок на спусках к реке;
- регуляционные и укрепительные сооружения, устраиваемые с целью улучшения условий движения речного потока у мостового перехода и защиты моста от повреждения протекающими водами.

Регуляционные сооружения в виде струенаправляющих дамб, траверс, запруд устраивают для плавного пропуска через отверстие моста руслового и пойменного потоков. С этой же целью для укрепления речных берегов и земляных откосов применяют полузапруды, буны, заильтели, лесонасаждения (рис. 2.4, 2.5, 2.6).

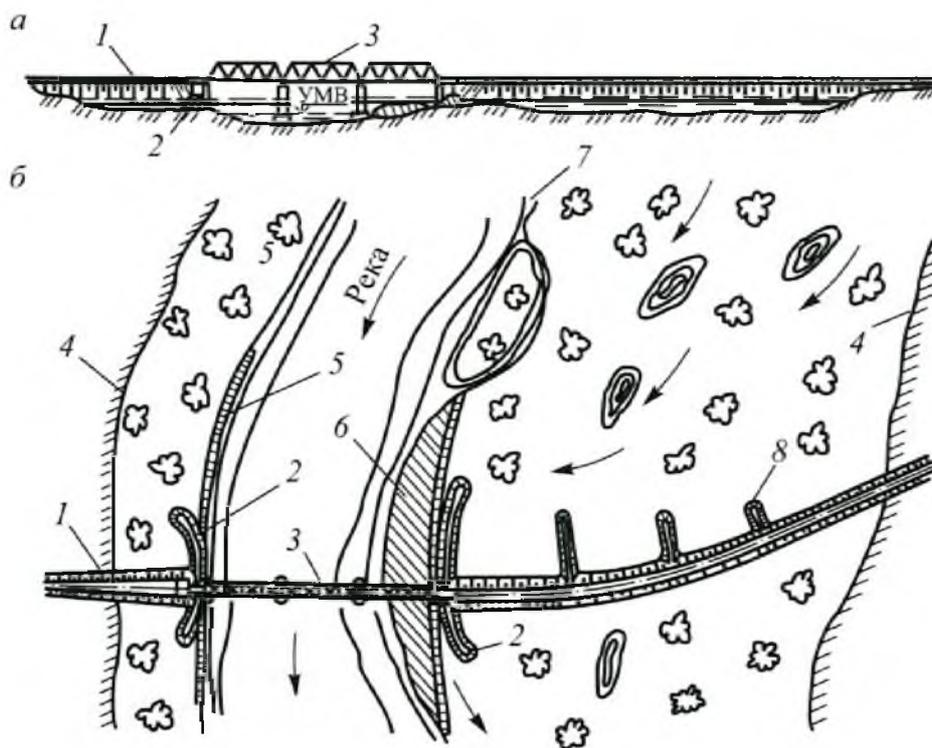


Рис. 2.3. Профиль и план мостового перехода

a — профиль мостового перехода; *б* — план мостового перехода; 1 — насыпь подхода; 2 — струенаправляющие дамбы; 3 — мост; 4 — граница затопления поймы; 5 — укрепление берега; 6 — срезка берега; 7 — протока; 8 — траверса

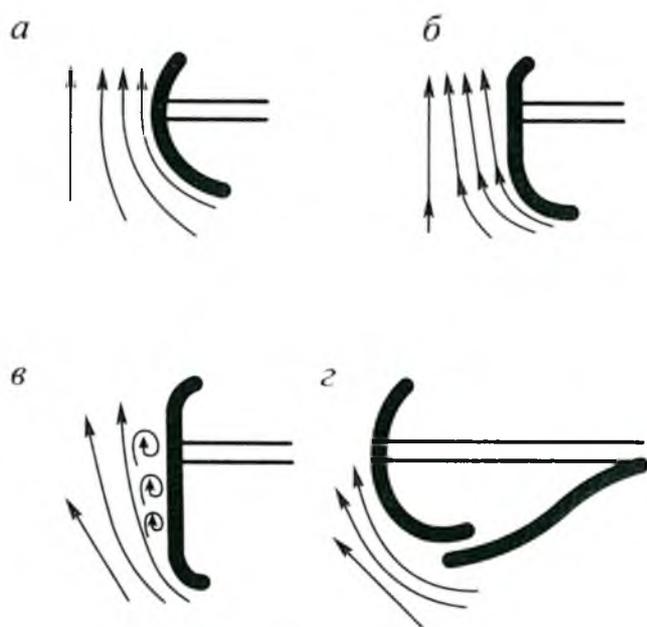


Рис. 2.4. Схемы дамб:
а — криволинейные; *б* — криволинейные с прямой вставкой;
в — прямолинейные; *г* — грушевидные

Струенаправляющие дамбы по своему очертанию в плане могут быть криволинейными, криволинейными с прямой вставкой, прямолинейными и грушевидными. Криволинейная дамба служит для направления пойменного потока в отверстие моста, прямолинейная дамба отжимает поток к противоположному берегу, криволинейная дамба с прямой вставкой служит для обеих упомянутых целей. Для регулирования пойменного потока применяются грушевидные дамбы. Дамбы представляют собой грунтовые насыпи. Конец дамбы, имеющий большее сечение, называется

головой, а место сопряжения дамбы с конусом насыпи у устоя — корнем. Верхняя часть дамбы называется гребнем, а нижняя — подошвой. Верх дамбы назначается на 0,5 м выше наивысшего горизонта высоких вод с учетом подпора и высоты волны. Ширина дамбы поверху не должна быть менее 2 м. Головы дамб имеют ширину в 2—2,5 раза больше нормальной.

Крутизна откосов дамб зависит от скорости течения, интенсивности ледохода, свойств грунта, из которого отсыпана дамба. Дамбы сооружаются с откосами с речной стороны не круче 1:2; со стороны поймы — 1:1,75. С речной стороны дамбы на всю высоту укрепляются бетонными плитами или каменным мощением, а с пойменной — одерновкой.

Траверсы служат для защиты от подмыва земляного полотна на подходах к мосту; они представляют собой короткие дамбы, устраиваемые в поперечном к оси насыпи направлении. При помощи траверс продольное течение воды на пойме отклоняется от земляного полотна на подходах и направляется к струенаправляющей дамбе. Траверсы устраивают с верховой стороны насыпи под прямым углом к земляному полотну. Откосы траверс укрепляют каменным мощением.

Запруды устраивают в районе мостового перехода тогда, когда создается угроза подмыва земляного полотна имеющимися на пойме протоками или рукавами.

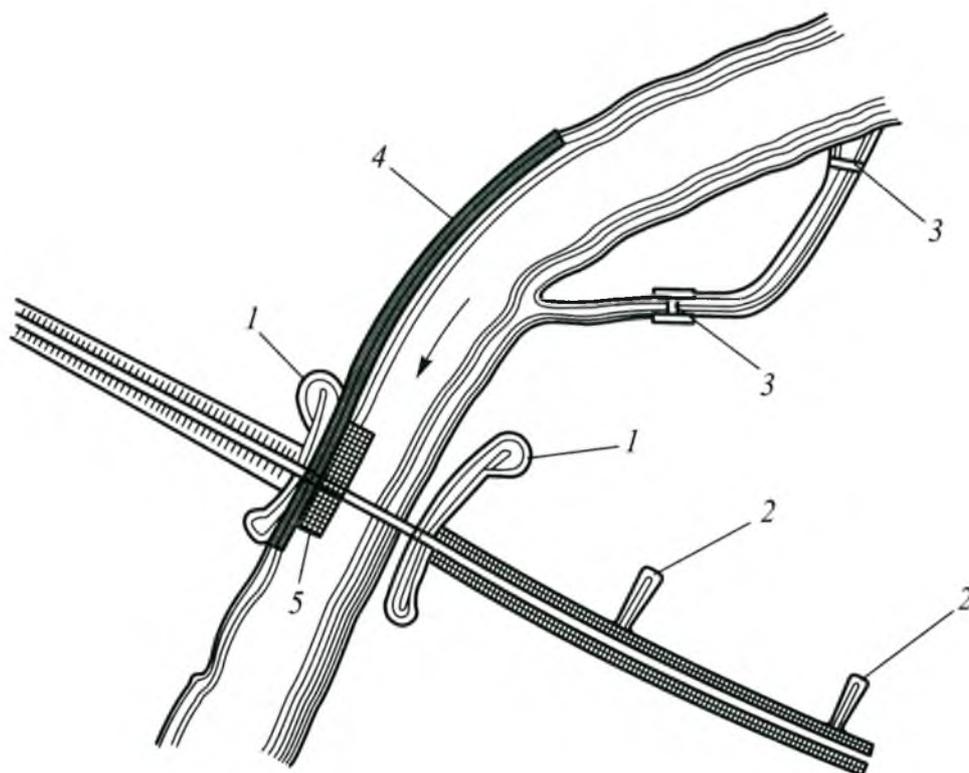


Рис. 2.5. Регуляционные сооружения:

1 — струенаправляющая дамба; 2 — траверса; 3 — запруда; 4 — береговое укрепление; 5 — фашинный тюфяк

Полузапруды сооружают для направления струй и отклонения потока от берега или подтопленного откоса насыпи. Полузапруды создают условия для отложения наносов, перемещаемых потоком. Полузапруды устраивают различных типов: земляные, из каменной отсыпки, бетонные, каменно-фашинные, плетневые и др. Голова полузапруды должна быть на 0,5 м выше горизонта меженных вод (ГМВ). Буны, в отличие от полузапруд, устраивают затопляемыми. Длина бун от 1/5 до 1/3 ширины русла, а расстояние между ними в 3—4 раза больше их длины. В корне верх буны должен быть на 0,5 м выше волны при высоком подпорном уровне воды, но не выше бровки берега, а голова буны — на уровне ГМВ. Буны соору-

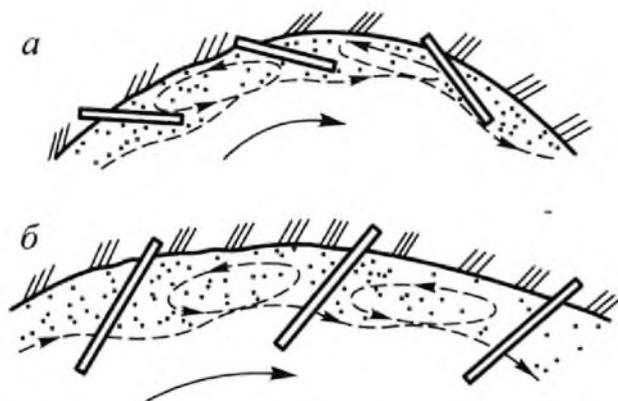


Рис. 2.6. Регулирование водотоков:
а — полузапруды; б — буны

жают из каменной кладки насухо или на растворе, каменной наброской, каменно-хворостяной кладки и др.

Заилители применяют на реках с большой скоростью течения для предотвращения размыва берега и дна русла. Заилители уменьшают скорость течения, содействуют отложению наносов и отклоняют струи в сторону динамической оси потока. Конструкция заилителей может быть разнообразна: различные щиты, волноломы, водобойные стенки, колодцы и др.

Лесонасаждения устраивают с целью укрепления берегов рек и регулирования речного потока (рис. 2.7). Лесонасаждения могут быть сплошными и ленточными, располагаемыми под углом 45° к течению в виде отдельных полос, находящихся на расстоянии 20—100 м друг от друга. Для этих целей наиболее применимы деревья и кустарники ивовых пород.

Укрепительные сооружения. Откосы конусов насыпей подходов к мосту и регуляционных сооружений берегов и русла укрепляют от размыва разного рода одеждами и защитными устройствами, которые выбирают в зависимости от характера действующих на них сил (ударов волн, давления льда, скорости течения и др.). Укрепление откосов производится после требуемого уплотнения и осадки грунтов сооружения на высоту, предусмотренную СНиП так, чтобы от бровки сооружения до

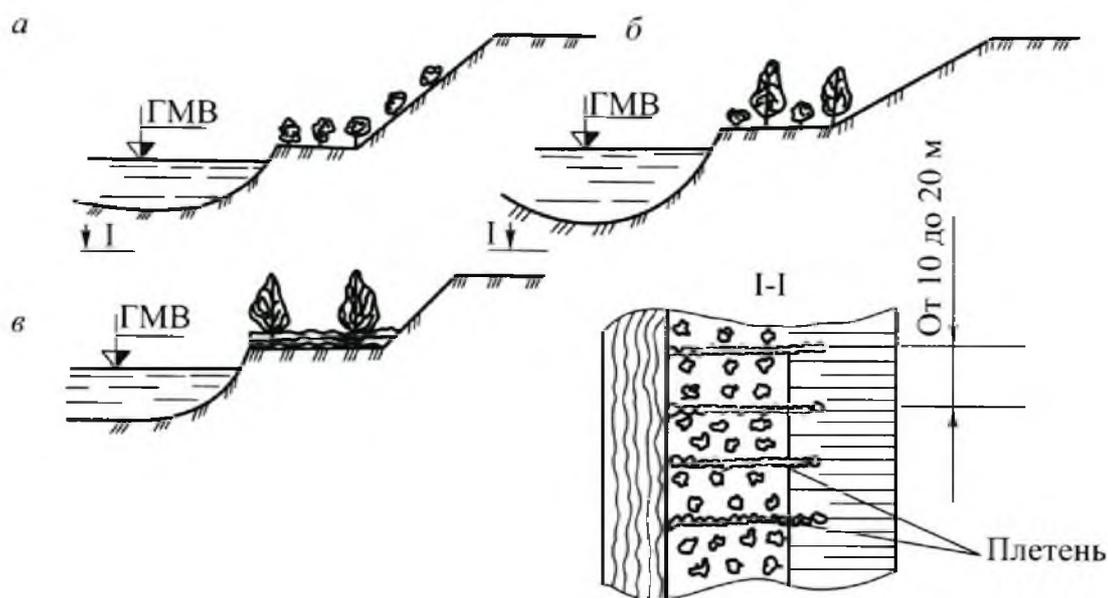


Рис. 2.7. Укрепление пойменных насыпей продольными лесозащитными полосами:

а — посадка кустарника; *б* — посадка деревьев с кустарником в промежутках; *в* — посадка деревьев с расстановкой плетней

наивысшего уровня воды, с учетом подпора и высоты волны, оставался запас не менее 0,5 м.

К простейшим видам укреплений, выполняемых из местных материалов, относится одерновка (рис. 2.8), покрытие прорастающими выстилками, каменная наброска, каменное мощение, фашинное укрепление, габионные конструкции из коробчатых и цилиндрических габионов, георешетки, а также усиление насыпей сетчатыми конструкциями в виде гравитационных габионных стен и стен системы терромаш. Новое рождение переживают сейчас габионы. Хотя этот способ имеет ряд недостатков:

- высокая трудоемкость;
- потребность значительных объемов дренирующих грунтов для обратной засыпки;
- высокие затраты на разработку и доставку сортированного камня.
- большая доля ручного труда (80—90 %).

Одерновка плашмя и в стенку применяется для укрепления откосов, подвергаемых действию текущей воды при скорости течения 0,9—1,5 м/с. Для одерновки используется дерн, нарезанный в виде плиток из плотного растительного слоя размером 30×50 см или в виде лент длиной 2—3 м и толщиной 6—10 см. Дернины, уложенные плашмя вдоль поверхности откоса или горизонтальными слоями (в стенку), прикрепляются к откосу деревянными спицами или ивовыми кольями.

Более надежным креплением является каменная наброска, применяемая для укрепления откосов и подошв насыпей, для заполнения вымоин в русле при скоростях течения до 4 м/с.

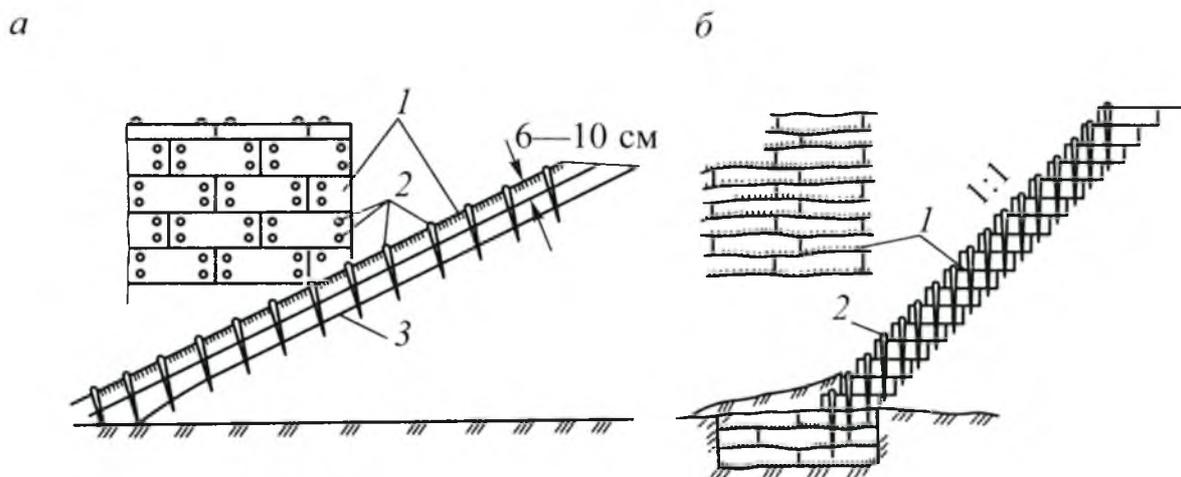


Рис. 2.8. Укрепление откосов одерновкой:

a — плашмя; *б* — в стенку; 1 — дернина; 2 — спицы; 3 — подсыпка

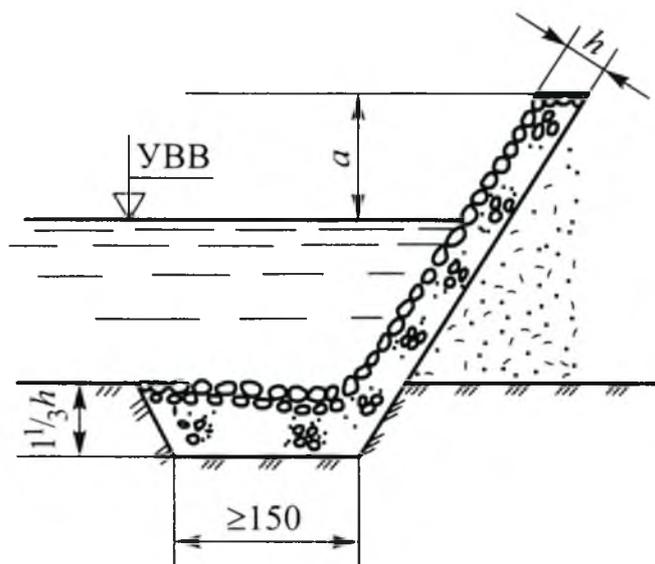


Рис. 2.9. Укрепление откосов одиночным каменным мощением:

$$a = \text{УВВ} + \text{подпор} + \text{высота волны} + 0,5 \text{ м}$$



Рис. 2.10. Укрепление откосов двойным каменным мощением

Каменное мощение одиночное или двойное (рис. 2.9, 2.10) выполняется из камня размерами 15—30 см по слою щебня, гравия или мха толщиной 10—15 см. Одиночное мощение применяется при крутизне откосов 1:1,5—1:2,0; двойное мощение состоит из двух рядов камня. Нижний слой укладывается камнями размером 15—20 см, верхний слой — камнями размером 20—30 см, при крутизне откосов до 1:1,5. Для предотвращения сползания в нижней части откоса устраивают упор из крупного камня.

Фашинное укрепление применяется для защиты от размыва откосов насыпей и берегов (рис. 2.11). Фашины представляют собой связанные пучки хвороста свежей рубки, чаще всего ивняка, длиной 3—4,5 м и диаметром связки до 30 см. Укладывают фашины врасстилку и втычок и закрепляют ивовыми кольями. Для подводного укрепления берегов применяются фашинные тюфяки (несколько фашин, соединенных между собой). Пригружаемые камнем фашинные укрепления допускают скорость течения потока до 3 м/с.

Наиболее употребляемыми видами укрепления в настоящее время являются сборные и монолитные железобетонные блоки и плиты (рис. 2.12). Железобетонные укрепления применяются для откосов берегов больших рек и водохранилищ. Сборные железобетонные плиты размером 2,0×1,0×0,12 м предназначаются для откосов крутизной 1:2,5 при высоте волны до 1 м.

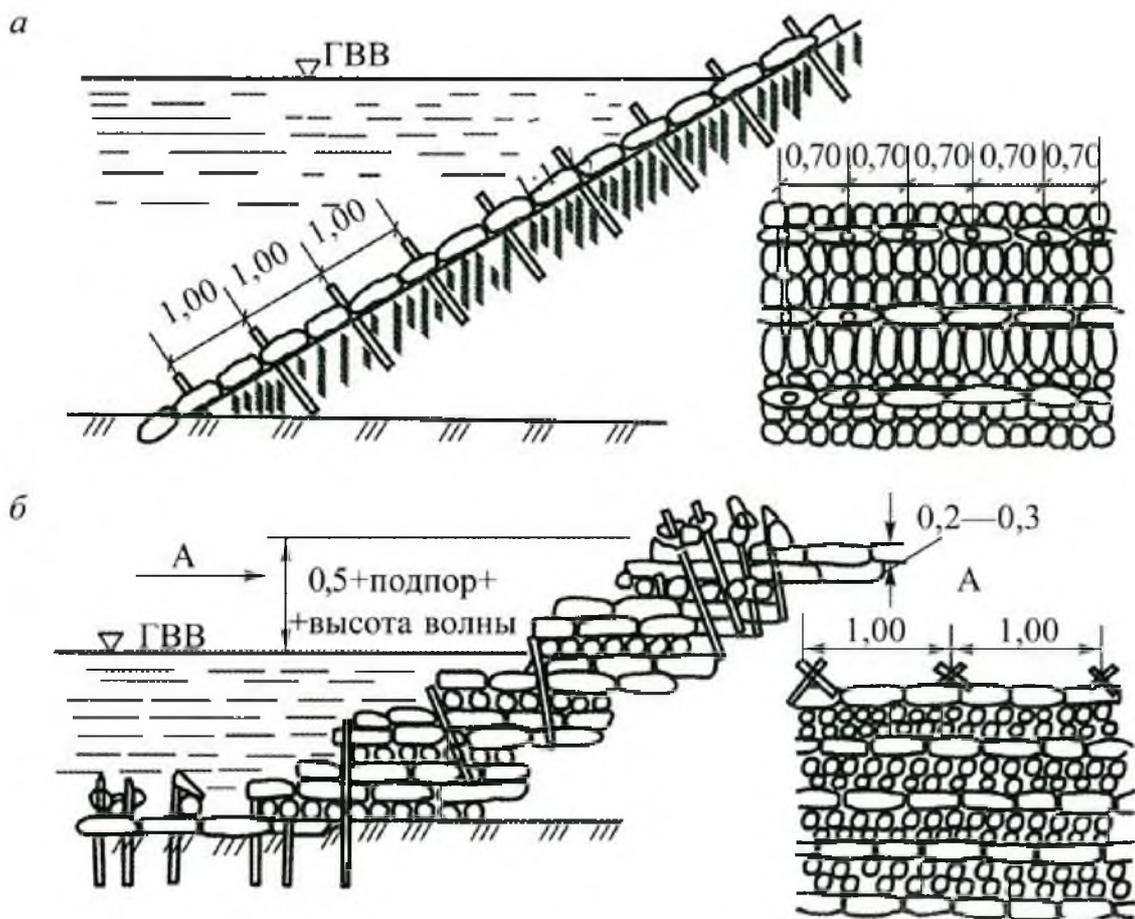


Рис. 2.11. Укрепление откосов фашинами:
а — врасстилку; *б* — втычок

Монолитные железобетонные плиты размерами от 4×4 до 10×10 м бетонируют непосредственно на откосе по щебеночной подготовке толщиной 15 см. Толщина плит составляет от 20 до 30 см. Сопряжение нижней части покрытия с грунтом осуществляется при помощи упорного зуба. Бетонные плиты применяют вместо трудоемкого каменного мощения. Плита толщиной 8 см укладывается на место краном или изготавливается непосредственно на укрепляемом откосе. Для изготовления плит используется бетон марки 200, плиты укладывают на подготовку из гравия или щебня толщиной 10 см.

Тюфяки из бетонных блоков, соединенные между собой стержнями и скобами, применяют для укрепления русел рек и защиты сооружений от подмыва при высоких скоростях течения воды (до 6 м/с). Размеры блоков от $50 \times 50 \times 20$ до $100 \times 100 \times 30$ см.

Для укрепления подводной части откосов применяются армированные асфальтобетонные плиты размером в плане 3×5 м и толщ-

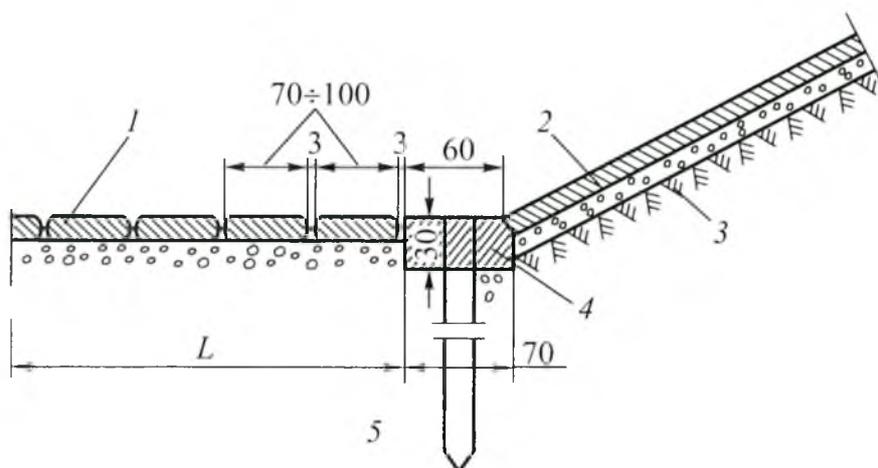


Рис. 2.12. Бетонный туюфяк:

1 — сборные бетонные плиты; 2 — монолитные бетонные плиты; 3 — щебечная подготовка; 4 — бетонный упор; 5 — железобетонная свая

ной 5—7 см. Армируются они сеткой с диаметром проволоки 3—5 мм. Плиты укладывают краном с помощью траверс, снабженных специальными вакуумными грузозахватными приспособлениями.

2.3. Изыскания мостового перехода

В подготовительный период собираются и изучаются материалы, характеризующие район расположения мостового перехода и режим данного водотока. При проектировании трассы железной дороги на основе картографического материала (камерального трассирования) назначается место пересечения трассы дороги и водотока. Намечаются возможные варианты положения перехода. Основой для решения этих вопросов служат карты района проектирования масштаба не мельче 1:100 000. Для окончательного решения по определению места перехода производится комбинированное трассирование, т.е. определенное положение перехода при камеральном (по картам) трассировании уточняется непосредственно на месте, в полевых условиях.

Устройство мостового перехода не должно вызвать каких-либо ухудшений режима реки. Основными характеристиками реки являются расход воды, форма и строение русла. Поэтому при изысканиях мостовых переходов основное внимание должно быть направлено на выявление возможных максимальных расходов воды, русловых деформаций и их возможных изменений при возведении на реке того или иного инженерного сооружения. Выбор места перехода является важнейшей задачей. Для

обеспечения всех необходимых требований, предъявляемых к мостовому переходу, и выявления всех исходных данных, необходимых для проектирования сооружения, при изысканиях мостовых переходов выполняют следующие работы: топографические съемки, гидрологические обследования реки, гидрометрические работы, инженерно-геологические обследования.

Топографо-геодезические работы на изысканиях мостовых переходов производятся с целью выявления рельефа и ситуации речной долины для обоснования выбора места перехода и проектирования инженерных сооружений на нем. Они включают в себя: съемки генерального плана мостового перехода в границах разлива с запасом 1—2 м над уровнем высоких вод вдоль долины реки вверх по течению на 1—1,5 ширины разлива и вниз по течению на 0,7—1,0 ширины разлива; съемки детальных планов полосы, непосредственно прилегающей к оси перехода, на всю ширину разлива реки поперек ее долины и вдоль реки на 1—1,5 длины отверстия моста выше и ниже по течению. Масштаб съемки генеральных планов мостовых переходов больших рек принимается от 1:10000 до 1:25 000, для средних рек — от 1:5000 до 1:10 000. Масштаб съемки детальных планов принимается от 1:1000 до 1:2000 с сечением горизонталей 1 или 0,5 м. Для съемки генеральных планов мостовых переходов больших рек применяется аэрофотосъемка.

Инженерно-гидрологические обследования производятся с целью изучения режима реки и определения необходимых расчетных данных для проектирования сооружений мостового перехода. Для ответственных мостовых переходов, независимо от степени изученности реки, наряду с полевыми обследованиями важное значение имеет экспериментальное изучение ожидаемых русловых процессов и выявление условий проектирования мостовых переходов на крупномасштабных моделях. Такое гидравлическое моделирование в сложных случаях производится совместно с соответствующими научными учреждениями.

Гидрометрические работы на изысканиях мостовых переходов включают съемку живых сечений и комплекс измерений, характеризующих режим данного водотока: наблюдения за уровнями воды, измерение скоростей и уклонов поверхности воды, установление режима судоходства и ледового режима.

Промеры глубин водотока для получения поперечных (живых) сечений, если глубина водотока не превышает 4—6 м, производят гидрометрической штангой (шест с делениями), при больших глубинах применяется лот-линь (мягкий стальной трос с разметкой через 0,1 м и грузом на

конце). При промерах с лодки, находящейся в снимаемом створе, ее положение засекают теодолитом, установленным на берегу (засеченном пункте). При известном базисе (расстояние от створа до теодолита) и угле α определяют расстояния между точками промера глубин. Абсолютные отметки дна русла определяют по отметке уреза воды и данным промера глубин на мостовом переходе.

На больших реках глубины определяют с помощью эхолотов. Принцип действия эхолота основан на измерении времени, необходимого для прохождения ультразвукового импульса от излучателя до дна реки и обратно к приемнику. Для наблюдения за уровнем воды на обоих берегах реки устанавливают временные водомерные посты в виде водомерных реек. Наблюдение за уровнем воды производят не менее трех раз в сутки в одни и те же часы. На основании журнала наблюдений составляют график колебания уровней воды за время работы гидрометрической партии.

Одним из важных элементов гидрометрических работ является измерение скорости водного потока, от которой зависит расход воды в реке. Скорости течения определяют гидрометрическими вертушками или поплавками. Вертушка может опускаться на любую глубину и показывать скорости на разных глубинах. Поплавок представляет собой деревянный диск диаметром 25 см и толщиной 5 см. В центре диска укрепляется стержень с белым флажком высотой 15 см; для придания поплавку устойчивости в ветреную погоду к нему прикрепляют небольшой груз.

Инженерно-геологические исследования проводятся для того, чтобы установить геологические условия и получить геологический разрез в месте перехода. В зависимости от результатов инженерно-геологических исследований решаются такие вопросы, как выбор оснований под опоры, глубина заложения опор, назначение допустимой скорости течения под мостом и размеров допускаемого размыва русла под мостом. При геологических исследованиях изыскиваются также местные строительные материалы.

2.4. Выбор типа и определение размеров малых водопропускных сооружений

При необходимости пропуска периодического водотока через тело железнодорожной насыпи применяются:

- железобетонные круглые трубы;
- железобетонные и бетонные прямоугольные трубы с плоскими железобетонными перекрытиями;
- мосты малых отверстий.

При необходимости пропуска водотока через выемку применяются:

- дюкеры;
- акведуки.

Выбор типа малого искусственного сооружения зависит в основном от следующих факторов:

- потребной водопрпускной способности сооружения;
- высоты насыпи (или глубины выемки);
- сроков строительства;
- наличия строительных материалов, годных для постройки искусственного сооружения.

Водопрпускная способность искусственных сооружений является определяющим фактором при выборе их типа.

Круглые железобетонные трубы изготавливают диаметром от 1 до 2,5 м. Круглая железобетонная труба диаметром 2,5 м имеет прпускную способность 15 м³/с. Кроме того, трубы могут устраиваться двух- и трехчковыми. При этом водопрпускная способность трубы, соответственно, удваивается или утраивается.

Прямоугольные бетонные трубы изготавливают отверстием от 2,0 до 6,0 м. Прямоугольная труба отверстием 2,0 м прпускает расход 26,0 м³/с, а труба отверстием 6,0 м — расход 78 м³/с; такая двухчковая труба будет иметь водопрпускную способность равную 156 м³/с.

При требуемой прпускной способности больше 156 м³/с только мост может обеспечить прпуск пересекаемого водотока.

Водопрпускная способность труб под железнодорожными насыпями существенно зависит от режима работы трубы (рис. 2.13). В зависи-

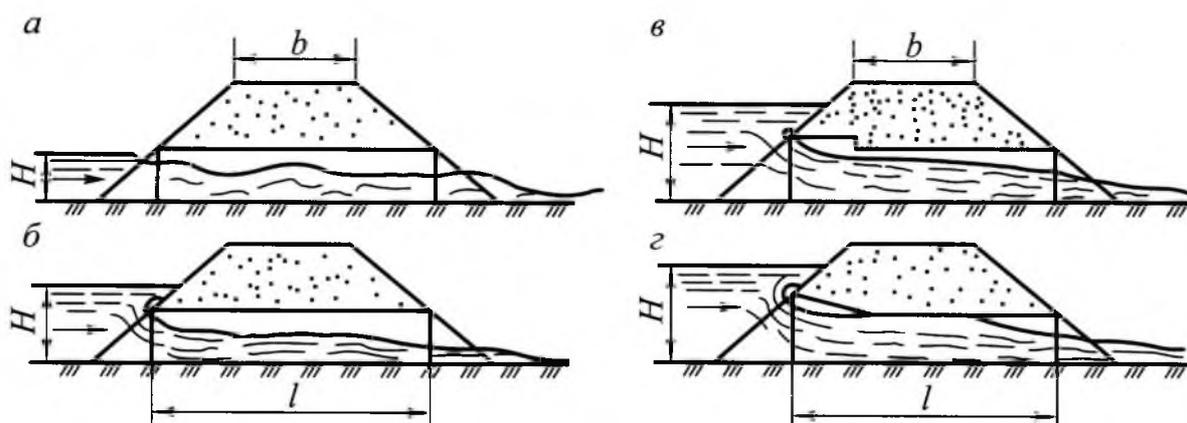


Рис. 2.13. Схемы режимов пртекания воды в трубах:

a — безнапорного; *б* — полунапорного; *в* — напорного при необтекаемом оголовке; *г* — напорного при обтекаемом оголовке; *b* — ширина основной площадки земляного полотна; *l* — длина трубы

мости от режима работы трубы делятся на безнапорные, работающие неполным сечением; полунанпорные, работающие полным сечением на входе и неполным на остальном протяжении трубы; напорные, работающие полным сечением на всем протяжении трубы. Наибольшая пропускная способность трубы обеспечивается напорным режимом. Возможность работы трубы при том или другом режиме зависит от величины подпора, формы и размеров отверстия и типа оголовков.

Трубы и малые мосты изменяют режим естественного водотока (стесняют его), в результате чего перед трубами горизонт воды повышается, а аккумулируемая в русле вода образует перед сооружением пруд, что обеспечивает более или менее значительный подпор воды.

На основе многолетнего опыта проектирования железных дорог современными нормами установлено, что гидравлические расчеты малых мостов и труб, а также насыпей на подходах к ним, должны производиться по двум расходам и соответствующим уровням воды — расчетному и наибольшему. Расчетным расходом называется расход повторяемостью один раз в 100 лет. На пропуск этого расхода и определяется отверстие сооружения. Наибольшим расходом называется расход больший, чем расчетный, с меньшей повторяемостью (один раз в 300 лет). На пропуск этого расхода проверяется высота насыпи на подходах к сооружению и сохранность элементов сооружения.

В соответствии со СНиП 2.05.03-84 расчетный расход принимается для дорог I и II категорий вероятной повторяемостью 1 раз в 100 лет (Q_{100}), а для дорог III и IV категорий — 1 раз в 50 лет (Q_{50}). Наибольший расход, на пропуск которого производятся поверочные расчеты, гарантирующие безопасность и бесперебойность движения поездов, для дорог всех категорий принимается с вероятной повторяемостью 1 раз в 300 лет (Q_{300}).

В пределах водопропускных искусственных сооружений профиль и план пути должны быть запроектированы так, чтобы обеспечивался беспрепятственный пропуск паводковых вод, не допускалась возможность размыва и затопления земляного полотна и были созданы благоприятные условия постройки и эксплуатации искусственного сооружения.

Идеальными условиями являются следующие: искусственные сооружения размещаются в плане на прямой, в профиле — на горизонтальной площадке, ось искусственного сооружения располагается под прямым углом к направлению струй воды в водотоке.

Что касается беспрепятственного пропуска высоких вод и недопущения затопления земляного полотна в пределах искусственных сооружений и на подходах к ним, то вопрос этот решается различно для мостов и труб.

Для мостов (рис. 2.14) отметка бровки насыпи (H_{\min}) должна быть не меньше наибольшей, полученной из расчета по следующим формулам:

$$H \geq H_{1:300} + a' + c - d(\text{м}),$$

$$H \geq H_{\text{расч}} + a + c - d(\text{м}),$$

где $H_{1:300}$ — отметка наивысшего уровня высоких вод с учетом подпора (ГВВ);

d — возвышение низа пролетных строений над ГВВ;

c — расстояние от низа пролетных строений до подошвы рельса;

$H_{\text{расч}}$ — отметка расчетного уровня воды, т.е. уровня, соответствующего расходу повторяемостью один раз в 100 лет для дорог I и II категорий и повторяемостью один раз в 50 лет для дорог III и IV категорий;

a — возвышение низа пролетных строений над расчетным уровнем воды;

d — расстояние от подошвы рельса до бровки основной площадки земляного полотна.

Для балочных мостов через несудоходные и несплавные реки при глубине подпертой воды до 1 м и менее:

$$a = 0,50 \text{ м}; d = 0,25 \text{ м};$$

при глубине более 1 м:

$$a = 0,75 \text{ м}; d = 0,25 \text{ м}.$$

Высоты насыпи, минимально необходимые для размещения труб, зависят от их типа и отверстия. Минимальная требуемая высота насыпи

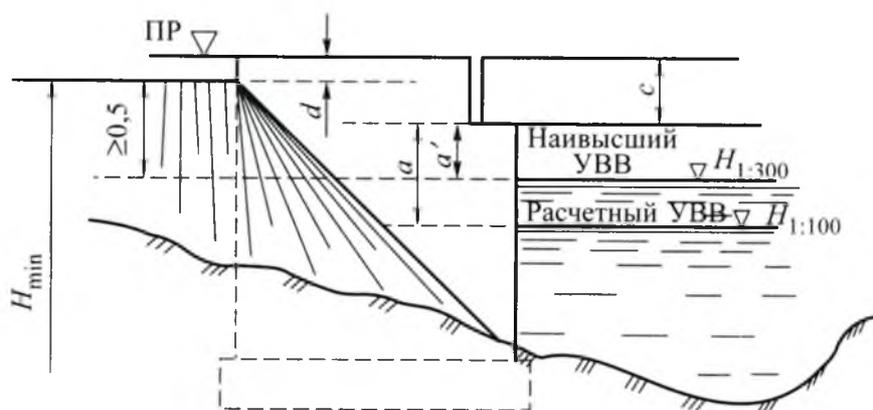


Рис. 2.14. Наименьшая требуемая высота насыпи у моста

по конструктивному условию равна расстоянию от обреза фундамента до бровки земляного полотна и складывается из высоты трубы и толщины слоя засыпки трубы, обеспечивающей сохранность трубы и ее изоляции с учетом толщины балластной призмы. Толщина засыпки должна быть менее 1 м. Минимальная требуемая высота насыпи по гидравлическому условию определяется по формуле

$$H \geq h_{300} + 0,5.$$

где H — наименьшая требуемая высота насыпи по гидравлическому условию;

h_{300} — величина подпора при наибольшем расходе воды повторяемостью 1 раз в 300 лет;

0,5 — запас по СНиП.

2.5. Расчет отверстия малого моста

В основе принятого способа гидравлического расчета малых искусственных сооружений лежит классическая теория движения жидкости по водосливу с широким порогом.

Водосливом с широким порогом называется водослив, у которого отношение длины порога к напору более 2,5. Водослив с широким порогом может быть незатопленным, когда уровень нижнего бьефа не оказывает влияния на протекание воды по водосливу, и затопленным, когда уровень нижнего бьефа распространяется на водослив. Критерием характера истечения жидкости служит соотношение между бытовой глубиной и критической глубиной потока в сооружении, которая в теории водослива с широким порогом определяется по формуле

$$h_{кр} = \frac{v^2}{g} (\text{м}),$$

где $h_{кр}$ — критическая глубина потока в сооружении;

v — скорость течения воды в сооружении (м/с);

g — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Если $a \leq 1,25h_{кр}$, то имеет место свободное истечение (незатопленный водослив). Если $a > 1,25h_{кр}$ — несвободное истечение (затопленный водослив), где « a » — бытовая глубина водотока в нижнем бьефе.

У водослива с широким порогом предполагается поверхность порога горизонтальной, длина порога ограниченной (l), сопротивления при входе жидкости на водослив и при протекании по водосливу незначительными.

Для гидравлического расчета отверстий малых мостов при незатопленном водосливе используются следующие формулы:

$$h_1 = h_{кр} = \frac{v^2}{g} (\text{м}),$$

где v — скорость течения воды под мостом (м/с);

h_1 — глубина воды в пределах искусственного сооружения.

Площадь живого сечения под мостом при отверстии моста, равном b , будет равна

$$\omega = bh_1 (\text{м}^2),$$

где ω — площадь живого сечения (м²);

b — водопропускное отверстие моста (м).

Расход воды через это отверстие:

$$Q = bhv (\text{м}^3/\text{с}),$$

Имея в виду, что $h_1 = \frac{v^2}{g}$ и, следовательно, $Q = b \frac{v^3}{g}$ (м³/с), получим

$$b = \frac{Qg}{v^3}.$$

Однако искусственное сооружение всегда сжимает поток, что приводит к нарушению параллельности струй течения, к появлению завихрений, а следовательно, к ухудшению условий истечения воды через искусственное сооружение. Для учета этого обстоятельства в расчет вводится коэффициент сжатия потока, и величина отверстия моста определяется по формуле

$$b = \frac{Qg}{\mu v^3},$$

где μ — коэффициент сжатия потока, принимаемый от 0,8 до 1,00.

Глубина воды перед искусственным сооружением с учетом подпора (h_2) определяется по формуле

$$h_2 = h_1 \left(1 + \frac{1}{2\varphi^2} \right) - \frac{v_0^2}{2g} (\text{м}),$$

где v_0 — скорость воды на подходах к сооружению;

φ — коэффициент скорости, $\varphi = 0,90$.

Если пренебречь величиной $-\frac{v_0^2}{2g}$ как незначительной, то

$$h_2 = h_1 \left(1 + \frac{1}{2 \cdot 0,9^2} \right) = 1,6h_1 \text{ (м)}.$$

Если при расчете отверстия моста оказалось $a > 1,25h_{кр}$, то расчет ведется по схеме затопленного водослива. В этом случае принимается $h_1 = a$, тогда $\omega = ba$; $Q = \mu bav$.

Откуда $b = \frac{Q}{\mu av}$ (м).

Глубина воды перед искусственным сооружением (с учетом подпора) определяется по формуле

$$h_2 = a = \frac{v^2}{2g\varphi^2} - \frac{v_0^2}{2g}.$$

Без ущерба для точности расчета расчетная формула упрощается до вида

$$h_2 = a + \frac{v^2}{2g}.$$

Полученная расчетом величина отверстия моста округляется до ближайшего большего стандартного значения: 4, 5, 6, 8, 10, 12 и 15 м.

При расчете отверстий мостов в обычных условиях соблюдается следующая последовательность:

1. По нормам сток поверхностных вод определяется расчетным расходом (Q_p) и наибольшим (Q_{max}) расходом: $Q_p = Q_{100}$; $Q_{max} = Q_{300}$.

2. Предполагая, что имеет место свободное истечение (незатопленный водослив), по расчетному расходу определяется отверстие моста по формуле

$$b = \frac{Q_p g}{m v_{доп}^3}.$$

где $v_{доп}$ — допустимая скорость течения воды под мостом в м/с, принимаемая в зависимости от типа крепления при отверстии моста до 15 м; если отверстие боль-

ше 15 м, то русло не укрепляется, а скорость течения принимается в зависимости от характеристики грунта русла водотока.

3. Полученное значение b округляется до ближайшего большего типового значения b_{\min} и определяется скорость течения под мостом по формуле

$$v = \sqrt[3]{\frac{Q_p g}{mb_{\min}}} \text{ (м/с)},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

4. Определяется критическая глубина потока под мостом

$$h_{\text{кр}} = \frac{v^2}{g} \text{ (м)}.$$

5. Проверяется правильность предположения о наличие незатопленного водослива по неравенству $a \geq 1,25h_{\text{кр}}$.

6. Определяется глубина потока перед сооружением с учетом подпора по формуле

$$h_2 = 1,6h_{\text{кр}}.$$

7. Определяется скорость течения под мостом при Q_{\max} по формуле

$$v = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max} g}{mb_{\min}}}.$$

По условиям пропуска Q_{\max} устанавливается отверстие моста при расчетной скорости $v = 1,2v_{\text{доп}}$.

8. Проверяется достаточность высоты насыпи по формулам:

$$H \geq H_{1:300} + a' + c + d \text{ (м)};$$

$$H \geq H_{\text{расч}} + a + c + d \text{ (м)},$$

где $H_{1:300}$ — отметка уровня высоких вод с учетом подпора при $Q_{\max} = Q_{300}$;

$H_{\text{расч}}$ — отметка уровня высоких вод при расчетном расходе ($Q_p = Q_{100}$);

a' — возвышение низа пролетного строения над ГВВ при $Q_{\max} = Q_{300}$;

a — возвышение низа пролетного строения над ГВВ при $Q_p = Q_{100}$;

d — расстояние от подошвы рельса до бровки основной площадки земляного полотна.

2.6. Строительные нормы и правила (СНиП)

Проектирование мостов и других искусственных сооружений выполняется в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП), периодически разрабатываемыми научными, проектными и строительными организациями и утверждаемыми Государственным комитетом по делам строительства, а также с использованием отдельных инструкций и указаний, составляемых в развитие и дополнение к СНиП.

За последние годы разработан и утвержден ряд нормативных документов, определяющих основные положения инженерных изысканий, порядок разработки и состав проектной документации. Это строительные нормы и правила СНиП 32-01-95, СНиП 11-01-95, СНиП 11-02-96; строительные технические нормы МПС РФ СТН-Ц-01-95; своды правил СП 11-101-95, СП 11-04-97; государственные стандарты ГОСТ Р21.1702-96, ГОСТ 21.204-93.

Строительные нормы и правила являются нормативными документами, регламентирующими строительство, и обязательны для всех проектных, строительных и монтажных организаций и предприятий независимо от их ведомственной подчиненности.

СНиП состоит из 4 частей:

- 1 часть — строительные материалы, изделия, конструкции и оборудование;
- 2 часть — нормы строительного проектирования;
- 3 часть — организация и технология строительного производства;
- 4 часть — сметные нормы.

Организация железнодорожного строительства регламентируется СНиП 3.01.01-85 с изменениями 1 и 2 1995 г. Законченные строительством объекты принимаются в эксплуатацию по СНиП 3.01.04-87.

На основании СНиП разработаны Единые районные единичные расценки (ЕРЕР-84), прейскуранты районных цен (ПРЦ) и укрупненные сметные нормы (УСН).

Сметные нормы включают в себя нормативы для определения сметной стоимости объектов и сооружений, которая складывается из стоимости производства работ, стоимости оборудования и стоимости материалов, топлива и энергоресурсов. Кроме сметных норм, в строительстве применяются производственные нормы. Они определяют затраты времени и труда на рабочие процессы. Их используют для сдельной оплаты труда и при проектировании производства работ. К производственным нормам относятся: ЕНиР (единые нормы и расценки), ВНиР

(ведомственные нормы и расценки), МНиР (местные нормы и расценки).

В 1986 году вошли в действие СНиП 2.05.03-84 на проектирование мостов и труб, которые заменили ранее действовавшие СНиПШ-Д7.62 и СН200-62.

Новые СНиП распространяются на проектирование новых и реконструкцию существующих постоянных мостов, путепроводов, акведуков, эстакад, пешеходных мостов, а также труб под насыпями железных дорог, колеи 1520 мм, линиях метрополитенов и трамваев, на автомобильных дорогах, улицах городов, поселков и сельских населенных пунктов.

2.7. Основные требования к конструкции мостов и труб

Задачи индустриализации и ускорения строительства искусственных сооружений требуют широкого применения типовых проектов конструкций и технологических правил производства работ. С этой целью основные размеры пролетных строений и опор мостов, а также водопропускных труб следует стараться назначать стандартными. При разработке типовых проектов железнодорожных мостов и труб предусматривается возможность их использования при строительстве вторых путей и простой замены пролетных строений на эксплуатируемой сети дорог. Генеральным размером железобетонных пролетных строений является расчетный пролет. В железнодорожных стальных мостах со сквозными фермами применяются типовые проекты балочных пролетных строений, разработанные для пролетов 44, 55, 66, 77, 88, 110, 132 м со стандартной панелью проезжей части 5,5 и 11 м.

Конструктивные формы и размеры опор и их фундаменты устанавливаются по расчету с учетом местных гидрогеологических, инженерно-геологических условий, требований судоходства и с учетом способа установки пролетных строений на опоры. На больших реках в условиях судоходства и ледохода опоры должны быть массивными — из каменной или бетонной кладки, обтекаемой формы в поперечном сечении. Глубина заложения фундаментов опор определяется в процессе проектирования на основе инженерно-геологических данных с учетом возможного максимального размыва дна реки, определяемого при расчете отверстия моста.

Раздел 2 КОНСТРУКЦИЯ И УСТРОЙСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Глава 3 КОНСТРУКЦИЯ И МАТЕРИАЛ ОПОР

3.1. Общие сведения об опорах

Опоры являются важнейшей частью моста; они служат для поддержания пролетных строений и передачи усилий от них на грунт основания. От прочности и устойчивости опор зависит состояние и долговечность моста.

Все нагрузки, действующие в определенных сочетаниях, не должны вызывать в опорах напряжений, осадок и перемещений, превышающих допустимые по СНиП 2.05.03-84. Стоимость опор и фундаментов составляет 50—60 % от общих затрат на все сооружение, поэтому конструкции опор должны быть экономичными и отвечающими принципу индустриализации в строительстве мостов. Опоры мостов условно разделяются на два вида: промежуточные (быки) и концевые (устои). Такое деление оправдано различными условиями их эксплуатации и передачи нагрузок. Промежуточные опоры работают, как правило, в зоне переменного уровня воды, находясь под воздействием ледохода и навала судов.

Устои чаще размещаются на суходоле. На них, кроме вертикальных нагрузок, действуют горизонтальные силы от давления грунта и торможения.

В плане тело опоры может иметь разное очертание: прямоугольное, закругленное, круглое. Форма тела опоры определяется классом реки и интенсивностью ледохода. Опоры, возводимые на суходоле, имеют, как правило, прямоугольную или круглую форму в поперечном сечении. Русловые опоры должны иметь такое очертание, которое бы обеспечило пропуск высоких вод под мостом без подмыва оснований опор. С этой целью очертанию опоры в плане придается закругленная форма в носовой и кормовой части или круглая. При наличии ледохода необходимо

заострение носовой части. Наклонная заостренная часть называется ледорезом (водорезом). При среднем ледоходе (Волга, Кама) режущему ребру придается наклон к вертикали примерно 10:1; для сильного ледохода (Северная Двина, Енисей, Обь и др.) ледорез устанавливается с наклоном режущего ребра 1:1÷2:1.

В настоящее время широко применяют как массивные опоры, так и облегченные. Существующие конструктивные решения опор полностью не унифицированы, типовые решения содержат более 150 различных вариантов сборных блоков. В связи с этим важным направлением совершенствования конструкций опор является унификация основных размеров их элементов.

Материал кладки опор. Капитальные опоры мостов строят из бетона, бутобетона, камня и железобетона.

Кладка из камня (песчаника, известняка, гранита и т.д.), формованного глиняного обожженного кирпича на известковом, а позже на цементном растворе, широко применялась при сооружении мостов. Большая трудоемкость тески камней правильной формы (при тесовой кладке) и сложность укладки неотесанных камней (при укладке в подбор) привели к широкому использованию бетона.

Бетон — искусственный строительный материал. Необходимая прочность бетона, его плотность, морозостойкость и долговечность обеспечиваются соответствующим подбором состава бетона. Прочность и плотность бетона зависят: от прочности заполнителя и правильного его подбора по гранулометрическому составу; от количества цемента в 1 м³ бетона; от марки цемента; от водоцементного отношения (В/Ц, где В — вес воды и Ц — вес цемента).

Применяемый для конструкций бетон должен удовлетворять следующим требованиям по морозостойкости, прочности, водостойкости и водонепроницаемости.

Плотность бетона характеризуется его объемным весом и водоцементным отношением. Для получения плотного бетона в конструкциях бетонных опор расход цемента на 1 м³ бетона должен быть от 250 до 300 кг при В/Ц 0,6—0,7.

Для конструкций мостов применяют портландцемент. Для надземных и надводных конструкций при неагрессивной среде используются:

- обычный портландцемент;
- пластифицированный портландцемент, повышающий подвижность бетонной смеси;

- гидрофобный портландцемент, понижающий гигроскопичность бетона;
- глиноземистый цемент, отличающийся быстротой твердения и стойкостью к химическим воздействиям.

Проектная марка бетона по морозостойкости F (табл. 3.1) соответствует числу циклов переменного замораживания и оттаивания, после которых его прочность на сжатие снижается не более чем на 10—15 %. Важным средством повышения морозостойкости и улучшения структуры бетона является применение пластирующих и воздухововлекающих добавок.

Таблица 3.1

Марка бетона по морозостойкости F для элементов конструкций

| Климатические условия строительства, характеризующие среднемесячную температуру наружного воздуха наиболее холодного месяца | В надводной и подводной, а также в надземной незатопляемых зонах | | В зоне переменного уровня воды | | | |
|---|--|--------------------|---|---|--|-----------------|
| | Ж/б и тонкостенные бетонные (толщиной менее 0,5 м) | Бетонные массивные | Ж/б и тонкостенные бетонные конструкции | Бетонные массивные | | Блоки облицовки |
| | | | | Кладка тела опоры (бетон наружной зоны) | Кладка заполнения при блоках облицовки (бетон внутренней зоны) | |
| Умеренные — минус 10°C и выше | 200 | 100 | 200 | 100 | 100 | — |
| Суровые — ниже минус 10 до минус 20°C | 200 | 100 | 200 | 200 | 100 | 300 |
| Особо суровые — ниже минус 20°C | 300 | 200 | 300 | 300 | 200 | 400 |

По прочности применяемые в конструкциях бетоны бывают следующих классов: В20, В22.5, В25, В27, В30, В35, В40, В45, В50, В55 и В60. Класс бетона выбирается в зависимости от вида конструкций, их армирования и условий работы (табл. 3.2).

Оценкой прочности бетона на сжатие, более близкой к действительным условиям работы конструкций, является оценка прочности по результатам испытаний на сжатие бетонных образцов в виде призм, имеющих высоту не менее 3,5 кратного поперечного размера. Предел прочности таких образцов называется призмной прочностью, составляющей для тяжелого бетона 70—80 % его кубиковой прочности. Прочность бетона на растяжение невелика и в 10—15 раз ниже его кубиковой прочности. Предел прочности на раскалывание (срез) примерно в 2,5 раза больше предела прочности на растяжение.

Стали и марки бетонов, применяемых для различных видов конструкций

| Виды конструкций, армирование и условия работы | Бетон класса по прочности на сжатие и растяжение |
|--|--|
| Бетонные конструкции | В20 |
| Железобетонные конструкции с ненапрягаемой арматурой: | |
| а) в надземных частях сооружений | В22,5 |
| б) в подземных частях сооружений, а также во внутренних полостях сборномонолитных опор | |
| Предварительно напряженные конструкции: | |
| а) без анкеров при стержневой арматуре классов: | |
| А-IV и АТ-IV | В20 |
| А-V и АТ-V | В25 |
| АТ-VI | В30 |
| б) при проволочной арматуре из одиночных проволок | В35 |
| с анкерами при проволочной арматуре из одиночных проволок | В35 |
| при пучках арматурных или стальных канатов | В25 |
| Блоки облицовки опор на реках с ледоходом при расположении | В35 |
| мостов в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки: | |
| -40 °С и выше | В35 |
| ниже минус 40 °С | В45 |

Проектная марка бетона по водонепроницаемости W соответствует давлению воды, при котором еще не наблюдается ее просачивание через образец бетона в возрасте 28 суток. Элементы и части конструкций железобетонных мостов и труб изготавливаются из бетона, имеющего марки по водонепроницаемости не ниже: W_4 — в подводных и подземных конструкциях; W_6 — в водопропускных трубах, в элементах креплений конусов насыпей и русел водотоков, в элементах проезжей части и блоках облицовки опор для районов со средней температурой наружного воздуха до 40 °С; W_8 — в блоках облицовки опор для районов с температурой наружного воздуха ниже минус 40 °С.

Для подземных и подводных частей при неагрессивной среде, кроме пластифицированного и гидрофобного портландцемента, применяется пуццолановый портландцемент и шлакопортландцемент. При агрессивной среде и для зон переменного уровня воды используется сульфатостойкий и глиноземистый портландцемент.

Состав бетона рассчитывают в лаборатории. Правильно запроектированная бетонная смесь должна быть удобоукладываемой, т.е. не расслаиваться при транспортировании, легко укладываться в опалубку и плотно заполнять форму. Подвижность бетонной смеси для монолитных конструкций определяется осадкой конуса или показателем удобоукладываемости и назначается в зависимости от вида бетонированной кон-

струкции. Приготовление бетонной смеси для мостовых конструкций должно производиться в бетономешалках. Бетономешалка загружается составляющими бетона одновременно, но не допускается вводить цемент первым. При больших объемах бетонных работ устанавливаются бетонные заводы, имеющие мощные бетономешалки и оборудование механизированной дозировки и загрузки материалов и выдачи готового бетона. В бетономешалках емкостью 1000—1200 л наименьшая продолжительность перемешивания бетонной смеси с осадкой менее 6 см составляет 120 с, а при осадке конуса более 6 см — 90 с.

Железобетон в массивных опорах применяется для устройства прокладников, подферменных плит, откосных крыльев балластного корыта.

Бутобетон применяется с целью экономии бетона. В бетон опоры включается бутовый камень размером не менее 15 см и объемом до 20 % полного объема кладки. Такое включение бута в кладку называется «изюм».

Камень укладывается только в свежий бетон. Уплотнение бетонной смеси осуществляется с помощью вибраторов. Расстояние между смежными камнями не должно быть меньше 10 см, а между камнем и опалубкой — не менее 25 см.

Бутовая кладка опор осуществляется из естественного камня твердых пород, неветривающихся и морозоустойчивых. Камень используется постелистый с размерами граней не менее 15 см, булыжный камень с окатанными поверхностями без плитовки (околки) в кладку не допускается. Бутовая кладка ведется на цементном растворе с облицовкой наружной поверхности естественным камнем прочных пород (гранит, песчаник, известняк и др.).

Ввиду большой трудоемкости бутовая кладка вытеснена бетонной и бутобетонной. Бутобетонные и бетонные опоры — монолитные опоры. В настоящее время широко применяется сооружение опор из сборного и монолитного железобетона. Важной составной частью железобетона является арматура, предназначенная для восприятия вместе с бетоном внутренних усилий, развивающихся в элементах конструкции под действием внешних нагрузок. В железобетонных конструкциях в качестве арматуры применяются различные виды стали: горячекатаные круглые стержни из углеродистой мартеновской и конвекторной стали, горячекатаные стержни периодического профиля из более прочной углеродистой стали. Стержни классов А-I—A-IV

применяются в конструкциях без предварительного напряжения бетона. Стержни классов А-IV, А-V, Ат-IV, Ат-V, Ат-VI, высокопрочная проволока, пряди и канаты применяются в предварительно напряженных конструкциях. Арматура, необходимая для формирования арматурного каркаса и закрепления рабочей арматуры, изготавливается из стали классов А-I и А-II, гладкая арматурная проволока — из стали класса В-I, периодического профиля — из стали класса Вр-I.

3.2. Виды опор

3.2.1. Промежуточные опоры

Промежуточную опору можно условно разделить на три конструктивных элемента: подферменную плиту (оголовок), тело опоры, фундамент (рис. 3.1). Размеры оголовков в плане назначают из условия разме-

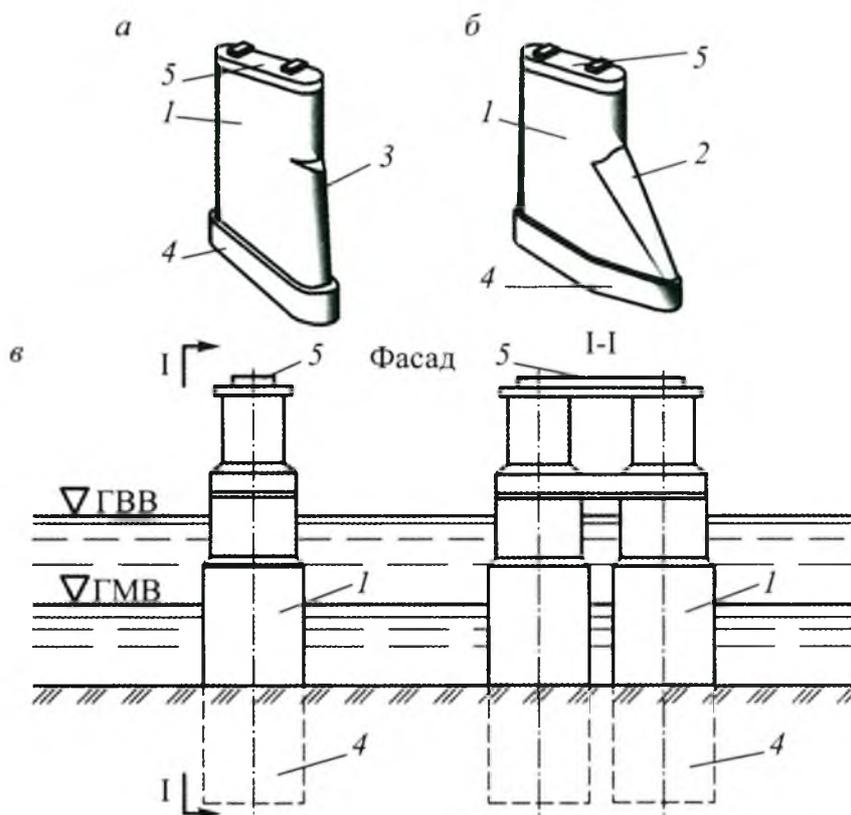


Рис. 3.1. Промежуточные опоры (быки):

- a* — каменный (бетонный) бык с водорезом; *б* — каменный (бетонный) бык с ледорезом; *в* — трубчато-телескопическая промежуточная опора (бык);
1 — тело опоры; *2* — ледорез; *3* — водорез; *4* — фундамент;
5 — подферменная плита

щения опорных частей. Расстояние между осями опорных частей определяется типом пролетного строения и его длиной.

Высота опоры — расстояние от обреза фундамента до верха опоры — может изменяться от нескольких метров до десятков и даже сотен метров. Высота опоры моста зависит от требований норм подмостового габарита; высота опор виадуков — от рельефа местности; высота опор путепроводов определяется требованиями габарита приближения строений. Толщина оголовков массивных опор применяется 0,5—0,6 м. Верхняя часть оголовка, кроме площадок под опорные части, должна иметь уклоны не менее 1:10 для отвода воды. Оголовок имеет свесы во все стороны не менее 10 см, улучшающие архитектурный вид опоры. В ряде случаев целесообразно устраивать сборно-монолитные промежуточные опоры. В сборных опорах широко применяют железобетонные оболочки диаметром 0,6—0,3 м и даже 5 м. Надежность работы таких опор обеспечивается заполнением внутренних полостей бетоном до уровня высокой воды. В виадуках при высоте опор до 100 м успешно применяют контурные замкнутые блоки высотой 1—1,2 м с толщиной стенок 0,35 м без заполнения внутренней полости. На небольших реках с толщиной льда до 0,3 м сооружают свайно-эстакадные мосты с пролетным строением небольшой длины. Полносборные опоры таких мостов состоят из прямоугольных в сечениях свай и объединяющих их насадок (ригелей). Высота такой опоры 5—6 м. Очертание опоры в плане зависит от ее местоположения: в воде или на суходоле. Наиболее целесообразная для речных опор обтекаемая, т.е. закругленная форма сечения в плане. Промежуточные опоры, располагаемые на суше, имеют обычно прямоугольные очертания; при сооружении опор мостов отверстием до 15 м и высотой насыпи до 9 м применяют сборные конструкции из бетонных блоков весом от 3 до 4, 5 т, подферменные блоки — до 7 т. Блоки стандартных размеров изготавливают на заводе или полигоне, перевозят к месту установки железнодорожным транспортом и устанавливают краном. Швы между блоками заделывают цементным раствором.

В средних и больших мостах нашли применение различные виды сборных бетонных и железобетонных опор, таких как трубчато-телескопические, массивные из бетонных блоков, сборно-монолитные из железобетонных блоков, предварительно напряженные и др. Трубчато-телескопические сборные опоры состоят из двух колонн, объединенных поверху мощной железобетонной подферменной плитой. В опорах высотой более 6 м (от ГМВ до подферменной плиты) между колоннами устраи-

вается дополнительная поперечная связь — ригель. Колонны представляют собой железобетонные тонкостенные трубы диаметром от 120 до 300 см, с толщиной стенок 12 см. Трубы соединяются между собой телескопическим стыком, труба меньшего диаметра заводится в трубу большего диаметра не менее чем на 1 м, после чего стык омоноличивается. Нижняя часть трубы заполняется подводным бетоном до отметки ГМВ+0,5 м. Сборно-монолитные опоры сооружаются из прямоугольных пустотелых железобетонных блоков в виде бездонных ящиков с гладкими вертикальными стенками. При монтаже опоры блоки устанавливаются один на другой на растворе. В стыках применяются железобетонные пояса, обеспечивающие взаимную связь блоков. По окончании монтажа производится расшивка швов между блоками.

3.2.2. Концевые опоры

Концевые опоры — устои — предназначены для сопряжения моста с насыпью и опирания на них крайнего пролетного строения. Конструктивные формы устоев разнообразны (рис. 3.2). Условно конструкции устоев можно разделить на необсыпные и обсыпные. В необсыпных конус

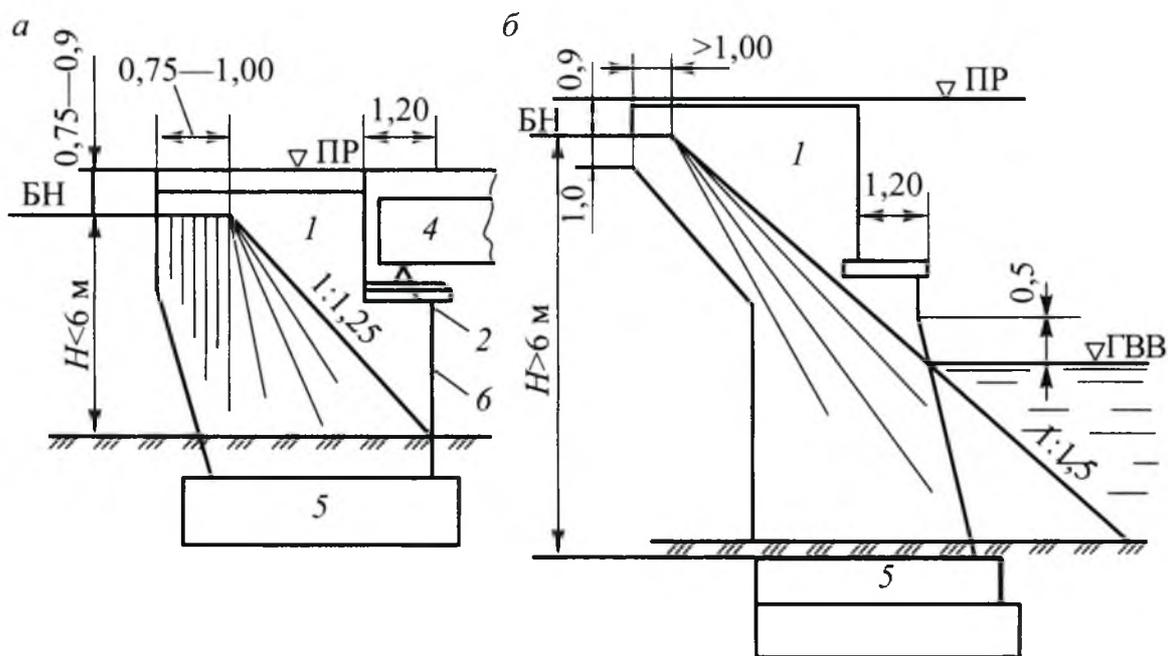


Рис. 3.2. Концевые опоры (устои):

- a* — необсыпной устой; *б* — обсыпной устой; *1* — тело устоя;
 2 — подферменная плита; 3 — опорная часть; 4 — пролетное строение;
 5 — фундамент; *б* — передняя стенка устоя; БН — бровка насыпи;
 ПР — отметка уровня подошвы рельса

насыпи не выходит за переднюю грань и фундамент устоя. В обсыпных устоях насыпь смещена в сторону пролета, стесняя живое сечение реки. Обсыпные устои требуют меньшего расхода бетонной кладки, но их применение увеличивает длину моста. Обсыпные устои применяются в средних и больших мостах при высотах насыпи более 6 м. Необсыпные устои чаще применяются в малых мостах при высоте насыпи до 6 м. Окончательное решение принимается после технико-экономического сравнения различных вариантов.

Основными конструктивными элементами устоя являются: подферменная плита, шкафная стенка, передняя стенка, конструкция, сопрягающая устой с насыпью подхода, фундамент. Ширина устоя зависит от габарита проезжей части. Конструкция устоев существенно зависит от высоты насыпи.

Наиболее распространенными видами береговых опор, построенных в прежние годы, являются: устои с обратными стенками, массивные, тавровые, отдельные, с проемами, устои с откосными крыльями (рис. 3.3).

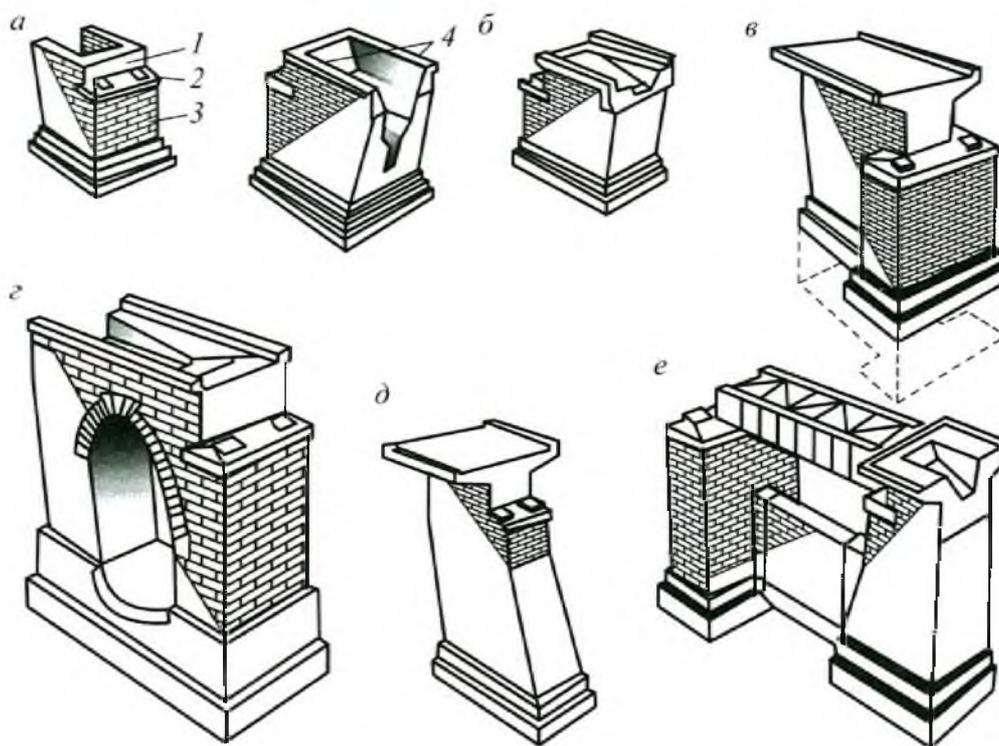


Рис. 3.3. Виды устоев:

a — с обратными стенками; *б* — массивный; *в* — Т-образный; *г* — с проемом; *д* — обсыпной; *е* — отдельный; 1 — шкафная стенка; 2 — подферменная плита; 3 — передняя стена; 4 — обратные стены; 5 — фундамент

Массивные устои имеют большие размеры по фасаду моста и большие объемы кладки, поэтому в последние годы применяются редко.

Устои сборно-монолитных конструкций устраивают из железобетонных контурных блоков с заполнением внутренней полости монолитным бетоном. Значительное снижение расхода материалов и повышение уровня сборности обеспечиваются применением свайных стоечных и рамных конструкций устоев.

Малые и средние мосты с пролетами до 20 м, путепроводы и эстакады строят преимущественно индустриальными способами с опорами в виде сборных свайных и столбчатых конструкций. В распространенных сборных железобетонных конструкциях свайно-эстакадных и стоечно-эстакадных железобетонных мостов опоры на 90—95 % сооружаются из элементов промышленного изготовления, которыми являются сваи, стойки, насадки, шкафные и фундаментные блоки. Кладка опор в атмосферных условиях постепенно разрушается. Вода, протекая через кладку, выщелачивает раствор и этим нарушает ее монолитность. В порах намокшей кладки при замерзании образуется лед, который, увеличиваясь в объеме на 0,9 %, отламывает наружные частицы камня. В результате многократного замораживания происходит выветривание кладки. Поэтому наружная поверхность капитальных опор должна быть защищена облицовкой из камней плотных и прочных пород, устойчивых против физического разрушения. Облицовка крепким камнем защищает опоры и от механического воздействия плывущих льдин. Облицовка используется также и как архитектурный элемент.

Чтобы предотвратить попадание воды в кладку, открытые сверху плоскости опор защищают устройством каменных или бетонных сливов с уклоном. Боковые поверхности опор, соприкасающиеся с грунтом, покрывают битумной мастикой (обмазочная гидроизоляция). В балластном корыте устоев устраивается оклеенная гидроизоляция с обеспечением стока воды за устой. Во избежание скопления воды за устоем насыпь отсыпается дренирующим грунтом с устройством дренажей.

3.3. Основания и фундаменты опор мостов

Всякое сооружение опирается на грунт и передает ему давление от собственного веса и действующих на сооружение нагрузок. Для восприятия этих нагрузок и передачи их на грунт (основание) устраивается фундамент. Наиболее надежным и экономичным является устройство опор на скальных грунтах. Скальные породы (песчаник, из-

вестняк, гранит, базальт и др.) имеют высокую прочность и не размываются.

Несущая способность грунтов основания зависит от их структуры и физических свойств. Классификация грунтов основания применяется по ГОСТ 25.100-82. Основания и фундаменты мостов и труб проектируются в соответствии со СНиП 2.02.01-83. В мостах фундаменты опор и их основания — ответственные элементы сооружения, от качества и надежности которых зависит долговечность моста и безопасность его эксплуатации. Основания подразделяются на естественные и искусственные. Естественным основанием является грунт, залегающий под фундаментом и способный воспринять все нагрузки, передаваемые через фундамент. Если грунт, залегающий под фундаментом, не может выдержать передаваемых на него нагрузок, устраиваются искусственные основания. Фундаменты на естественном основании могут быть мелкозаложенными (до 6 м в открытых котлованах) и глубокого.

3.3.1. Фундаменты мелкозаложенными

Когда грунты, залегающие в основании, по своим физико-техническим свойствам и расчетным характеристикам позволяют устроить фундамент сооружения на небольшой глубине, сооружаются фундаменты мелкозаложенными, обычно в открытых котлованах (рис. 3.4).

Так как фундамент служит для передачи давления от сооружения на грунт, подошва его должна иметь достаточную площадь, определяемую расчетом. Требуемое расширение фундамента книзу делается уступами или в виде усеченной пирамиды. При ступенчатом фундаменте линия его расширения не должна составлять с вертикалью угол более 30° . Верх фундамента опоры, называемый обрезами, должен располагаться на 0,5 м ниже уровня меженичных вод для того, чтобы фундамент не обнажался при пониженных уровнях. На сухом месте обреза располагается на 0,1—0,2 м ниже поверхности грунта. В уровне обреза фундамент делается шире устанавливаемого на него тела опоры для того, чтобы в случае неточности реального положения возведенных фундаментов установка на них тела опоры не вызывала трудностей. Ширина уступов ступенчатого фундамента принимается 0,5—1,0 м. Фундаменты устраивают из бетона, реже из железобетона. Они могут быть монолитными и сборными из бетонных или железобетонных блоков, изготовленных на заводе или полигоне и устанавливаемых на место краном.

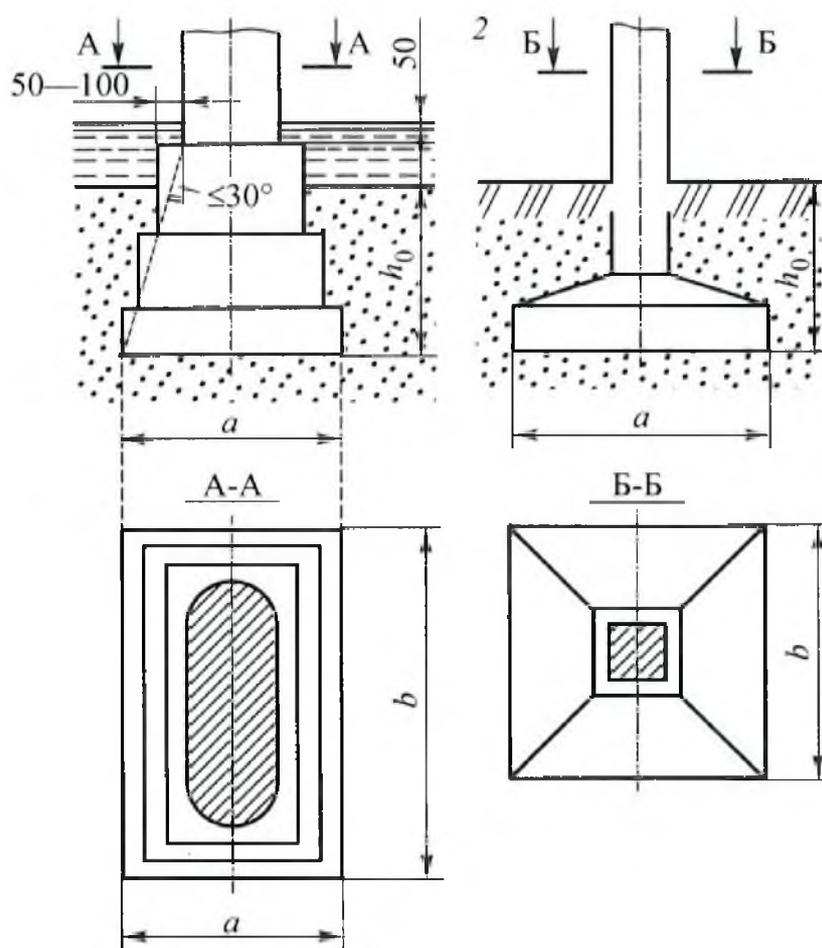


Рис. 3.4. Фундаменты мелкого заложения:

1 — фундамент опоры в русле реки; 2 — фундамент опоры на сухом месте;
 h_0 — глубину заложения фундамента от подошвы до поверхности грунта;
 a — ширина подошвы фундамента по фасаду; b — ширина подошвы фундамента в направлении, перпендикулярном оси моста

Подошва фундамента располагается в зависимости от характера грунтов, но, как правило, не менее чем на 1 м ниже поверхности грунта или дна реки, а для грунтов, увеличивающихся в объеме при намокании, на глубину не менее 0,25 м ниже уровня промерзания.

При действии на опору больших сил и наличии в основании слабых грунтов возникает необходимость устройства фундамента глубокого заложения или усиления основания.

Грунты по прочности, устойчивости и размываемости делятся на 2 группы: цементированные (скальные) и нецементированные (рыхлые).

Нецементированные грунты делятся на связные (глинистые) и сыпучие (песок, гравий, галька).

Гранулометрический состав устанавливается ситовым анализом (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Классификация песков по гранулометрическому составу

| Песок | Размеры частиц, мм | Содержание частиц, % от массы сухого грунта |
|-----------------|--------------------|---|
| Гравелистый | Крупнее 2 | 25 % |
| Крупнозернистый | 0,5—2 | 50 % |
| Среднезернистый | 0,25—0,5 | 50 % |
| Мелкозернистый | 0,1—0,25 | 75 % |
| Пылеватый | 0,1 | Менее 75 % |

Для проверки и контроля характеристик грунтов каждая строительная организация должна иметь передвижную грунтовую лабораторию со специальным оборудованием, позволяющим в полевых условиях быстро определять физико-механические свойства грунтов.

Глина в сухом состоянии представляет собой плотную породу, способную выдержать большие нагрузки, но при насыщении водой является слабым грунтом, становится пластичной, изменяет свою форму (табл. 3.4). Песок в естественных условиях находится как в рыхлом, так и в плотном состоянии. В сухом состоянии песок сыпуч, а при насыщении водой при-

Таблица 3.4

Характеристика глинистых грунтов

| Наименование грунта | Содержание частиц по массе, % | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | Песчаных размером 2,0—0,05 | Пылеватых размером 0,05—0,005 | Глинистых размером 0,005 |
| Супесь: | | | |
| легкая | Более 50—крупнее 0,25 | — | 3—6 |
| тяжелая | Менее 50—крупнее 0,25 | — | 6—10 |
| пылеватая | — | Больше, чем песчаных | 3—10 |
| Суглинок: | | | |
| легкий | Больше, чем пылеватых | — | 10—20 |
| тяжелый | То же | — | 20—30 |
| легкий пылеватый | — | Больше песчаных | 10—20 |
| тяжелый пылеватый | — | — | 20—30 |
| Глина: | | | |
| песчаная (тощая) | Больше, чем пылеватых | — | 30—40 |
| пылеватая | — | Больше песчаных | 30—40 |
| полужирная | — | — | 40—60 |
| жирная | — | — | Более 60 |

обретает текучесть (пывун). Плотный песок без примеси глины, пыли и ила является надежным основанием. Слабые грунты в основаниях могут быть упрочнены (искусственные основания).

Применяются следующие способы упрочнения грунтов:

- уплотнение грунта путем укатки, трамбования;
- цементация грунтов (нагнетание в грунт цементного молока);
- силикатизация (пропитка грунта жидким стеклом);
- битумизация (нагнетание в грунт битумных эмульсий).

Искусственные основания можно создавать путем замены слабого грунта на более прочный.

При устройстве фундаментов в сухом прочном грунте котлованы разрабатываются без крепления стенок. Крутизна откосов стенок котлована зависит от вида грунта, стенки могут быть вертикальными или наклонными. Котлованы с наклонными стенками требуют больших объемов земляных работ, но не нуждаются в креплении. Крутизна откосов при сроке пребывания котлованов не засыпанными не более 15 дней в супесях 1:0,67 и 1:1, в суглинках 1:0,67 и 1:0,75, в глинах 1:0,5 и 1:0,7, в скалах 1:1. Крепление котлованов глубиной до 5 м выполняется по типовым проектам с применением инвентарных крепежных деталей, а при глубине более 5 м — по индивидуальным проектам (рис. 3.5).

В супесчаных, лёссовых и водоносных грунтах, когда уровень грунтовых вод стоит выше подошвы фундамента, фундамент сооружается под защитой деревянного или металлического шпунтового ограждения (рис. 3.6). Деревянное шпунтовое ограждение устраивается из брусьев толщиной 10—12 см или из досок толщиной 4—8 см, забиваемых в грунт в виде сплошной по периметру котлована стенки. Брусья или доски шпунтового ограждения — шпунтины — обрабатываются по кромкам так, чтобы каждый брус (доска) имел с одной стороны гребень, а с другой — паз. Для обеспечения правильного расположения шпунтин устанавливаются маячные сваи во всех углах шпунтового ограждения на расстоянии 2,5—4 м друг от друга. При большой глубине котлована шпунтовые стенки укрепляются распорками. Шпунт забивается на 1—2 м глубже дна котлована.

Металлический шпунт является более современным средством для ограждения котлована. Металлические шпунтины плоского и корытного профиля имеют по продольным кромкам замки для соединения их между собой. Они могут иметь длину 12—25 м, что позволяет забивать их на большую глубину. Для фундаментов, сооружаемых в постоянном

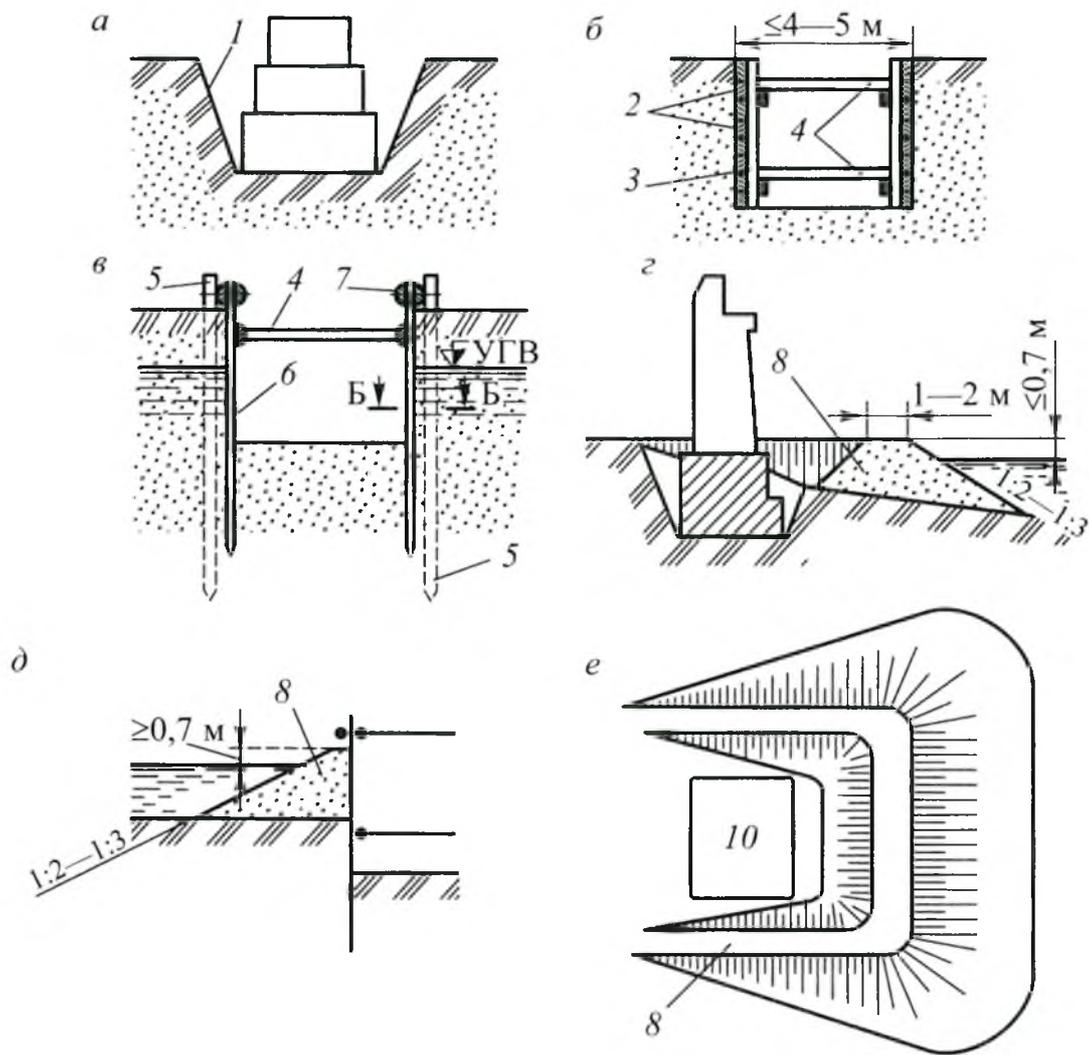


Рис. 3.5. Виды котлованов и их ограждений:

a — ступенчатый фундамент в сухом котловане без крепления; *б* — котлован, стенки которого имеют крепление распорки; *в* — крепление котлована с помощью распорок в шпунтовом ограждении; *г* — фундамент в котловане, защищенном грунтовыми перемычками; *д* — котлован в шпунтовом ограждении, укрепленном грунтовой перемычкой; *е* — котлован, защищенный грунтовыми перемычками; *1* — стена котлована в виде естественного откоса грунта; *2* — закладные доски; *3* — стойка; *4* — распорки; *5* — маячная свая; *6* — шпунтовая стенка; *7* — направляющие схватки; *8* — земляная перемычка; *9* — заполнение грунтом; *10* — котлован; УГЦ — уровень грунтовых вод

шпунтовом ограждении, должны быть предусмотрены меры по засыпке и уплотнению грунта в пазухах котлована. Фундаменты мелкого заложения, как правило, имеют прямоугольные очертания в плане. В слабых грунтах фундаментам придается ступенчатая форма для получения наибольшей площади подошвы фундамента.

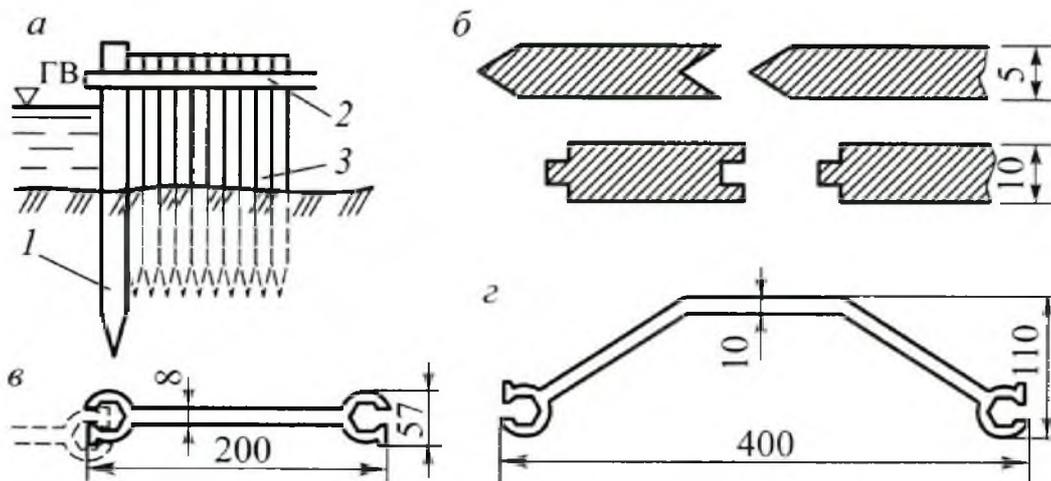


Рис. 3.6. Шпунтовые ограждения:

а — деревянная шпунтовая стенка; *б* — деталь сопряжения деревянных шпунтин; *в* — плоский металлический шпунт; *г* — металлический шпунт корытного типа; *1* — маячная свая; *2* — направляющая; *3* — шпунтины

3.3.2. Свайные фундаменты

Свайные фундаменты применяют при слабых грунтах основания, при достаточно глубоком залегании прочных грунтов, а также на местности, покрытой водой. По характеру работы сваи делятся на два вида: сваи-стойки, работающие на сжатие, и висячие сваи (сваи трения), передающие нагрузку за счет трения боковых поверхностей свай о грунт (рис. 3.7). По виду материала сваи бывают: деревянные, железобетонные, стальные, фунтовые, комбинированные и др. По способу погружения различают сваи: забивные, камуфлетные, буровые, винтовые, набивные (рис. 3.8). По расположению относительно горизонта сваи подразделяются на вертикальные и наклонные.

Свайный фундамент состоит из отдельных свай и объединяющей их поверху монолитной бетонной или железобетонной плиты — ростверка. Ростверком называется плита, служащая для равномерного рас-

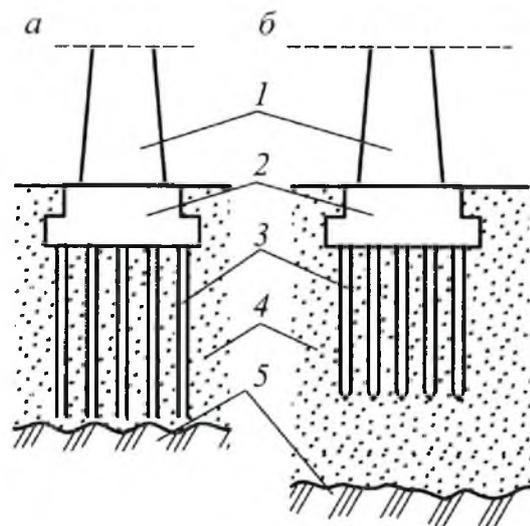


Рис. 3.7. Виды сваи по характеру работы:

а — сваи-стойки; *б* — висячие сваи; *1* — тело опоры; *2* — ростверк; *3* — сваи; *4* — слабые грунты; *5* — прочные грунты

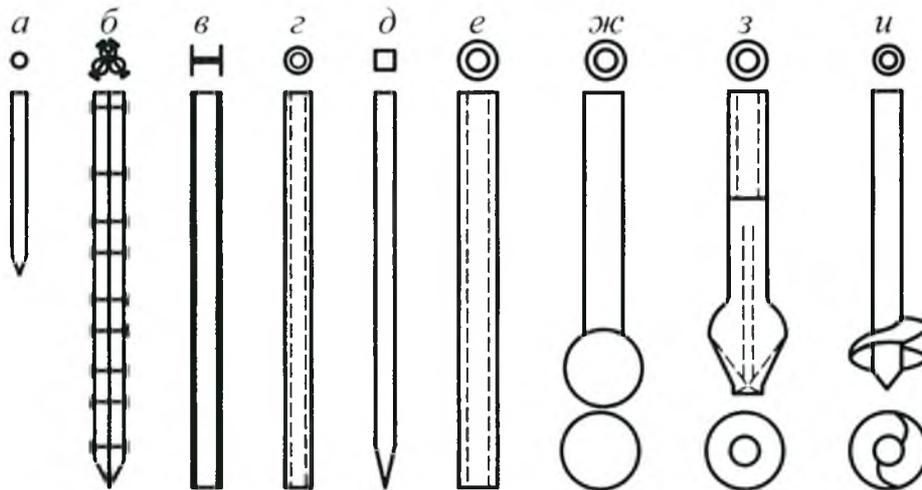


Рис. 3.8. Различные виды свай:

а — деревянные одиночные; *б* — деревянные составные; *в* — металлические из двутавров; *г* — из труб; *д* — железобетонные массивные; *е* — пустотелые; *ж, з* — трубожелезобетонные с уширениями; *и* — винтовые

пределения давления на сваи. По расположению относительно поверхности грунта свайные ростверки бывают низкие и высокие (рис. 3.9). Если подошва плиты заглублена в грунт, свайный ростверк называется низким. Если подошва плиты расположена выше поверхности грунта, ростверк называется высоким. Размеры плиты (ростверка) определяются условиями размещения необходимого числа свай, способных воспринять нагрузку на опоры. Сваи размещаются в ряд или в шахматном порядке. Наибольшее распространение получили бетонные ростверки, в

которые заделываются головы свай (железобетонные или деревянные).

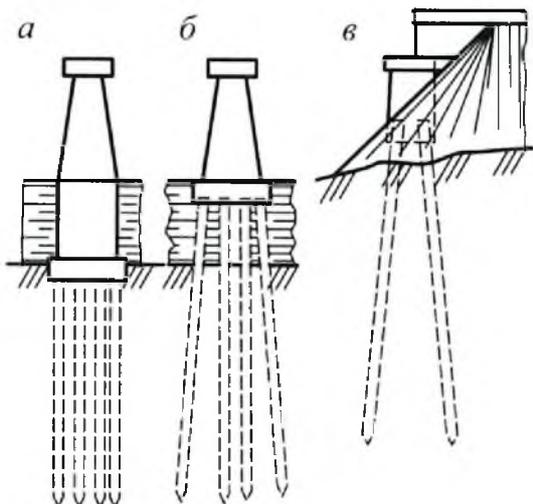


Рис. 3.9. Свайный ростверк:
а — низкий; *б* — высокий в воде;
в — высокий в насыпи

Толщина плиты ростверка определяется расчетом, но не менее 0,5 м. Высокие свайные ростверки применяются при глубине воды в реке не менее 3 м, когда работы по устройству открытого котлована осложнены условиями водоотлива или когда вес кладки фундамента, приходящийся на единицу площади основания, превосходит допускаемое напряжение на грунт. Бетонирование ростверка осуществляется в опалубке, подвешенной к головкам свай.

Деревянные сваи изготавливают из круглого леса хвойных пород (рис. 3.10). Бревна для свай (прямые и ровные) должны быть диаметром 24—36 см. Ствол должен быть очищен от коры и сучьев, влажность не ограничивается. Нижний конец сваи заостряется в виде трех- или четырехгранной пирамиды, с вершиной, лежащей на оси сваи; острие при- тупляется. При забивке свай в гравелистые грунты свая оснащается стальным башмаком, плотно прижатым к острию сваи, и пришивается к ней гвоздями. На голову сваи одевается кольцо (бугель) из полосового железа или наголовник соответствующего очертания для предохранения древесины от размочаливания при ударах по ней молотом.

Объединенные между собой 3 или 4 сваи, стянутые болтами, образуют свайный пакет. Обычная длина свай 6—12 м. При большей глубине забивки сваи наращиваются либо в полдерева, либо впритык с металлическим штырем и накладками, либо с применением отрезка металлической трубы (стакана).

Железобетонные сваи по сравнению с деревянными обладают рядом преимуществ. Железобетонные монолитные сваи изготавливаются квадратного сечения от 25×25 до 40×40 см. Длина железобетонных свай составляет от 6 до 24 м, градация длин через 2 м. Сваи армируются про-

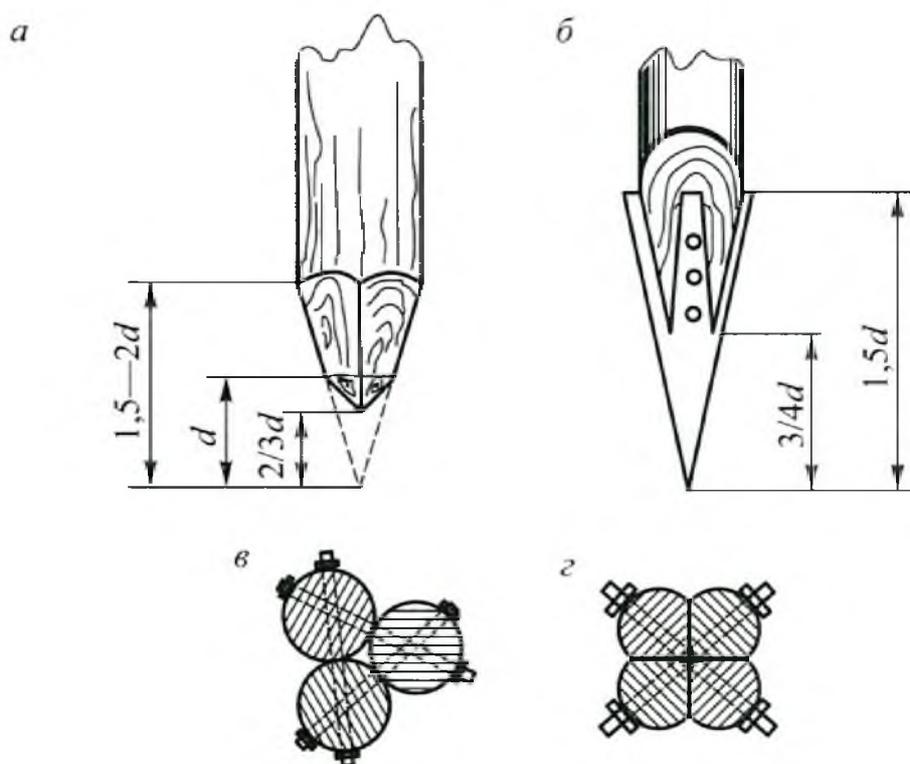


Рис. 3.10. Конструкция деревянных свай:
а — с заострением; *б* — с металлическим башмаком; *в, г* — пакетные сваи

дольными стержнями и хомутами. Диаметр продольных стержней арматуры в зависимости от сечения и длины сваи варьируется от 18 до 25 мм. Нижний конец сваи выполняется в виде башмака, к которому привариваются собранные в пучок продольные арматурные стержни. Головная часть сваи, воспринимающая удары молота или вибрационное воздействие, усиливается несколькими рядами арматурных сеток. Для строповки при транспортировании и погружении в грунт в теле сваи в трех местах по длине оставляются взаимно перпендикулярные отверстия диаметром 25—30 мм. На заводах и полигонах изготавливают сваи из предварительно напряженного железобетона, которые более прочны и экономичны по сравнению со сваями из обычного железобетона.

Специальные виды свай. В строительстве мостов применяются специальные виды свай и оболочек глубокого заложения. Работают они как сваи-стойки, которые передают давление своими нижними концами на прочную породу или имеют внизу уширения, распределяющие давление на большую площадь.

Из различных специальных видов свай, применяемых в строительстве мостов, наибольший интерес представляют буровые сваи и железобетонные цилиндрические оболочки.

Для устройства буровых свай сначала пробуривается в грунте скважина, которая затем заполняется бетоном. Буровые сваи можно считать одной из разновидностей свай-столбов. Бурение скважин в зависимости от свойств грунта может осуществляться без обсадных труб или с использованием обсадных труб. Скважины без обсадных труб заполняются специальным глинистым раствором, препятствующим обрушению стенок. В этих случаях бетон подается вниз по трубе, постепенно вытесняя глинистый раствор. При бурении с обсадными трубами их извлекают по мере бетонирования. Бетонная смесь укладывается слоями толщиной 1—1,5 м с трамбованием. При необходимости армирования сваи арматурный каркас опускают в скважину до ее бетонирования. Имеющееся буровое оборудование позволяет разрабатывать скважины диаметром в несколько метров и глубиной до 100 м и более, обеспечивая большую производительность работ.

Железобетонные цилиндрические оболочки состоят из отдельных цилиндрических звеньев длиной по 6—12 м, изготовленных методом центрифугирования или бетонирования с виброуплотнением. Для получения оболочки нужной длины звенья соединяются до или в процессе погружения. Оболочки погружаются с открытым нижним концом. Звенья

соединяются между собой болтами или сварными стыками. Оболочки погружаются вибропогружателями. Из внутреннего пространства оболочки грунт извлекается и после погружения заполняется бетоном полностью или, при больших диаметрах оболочек, частично.

Буровые сваи с уширенным основанием состоят из буровой колонны (штанги), снабженной внизу долотом и специальными механизмами с раскрывающимися ножами (рис. 3.11). При бурении стенки скважины укрепляются против обрушения нагнетанием в нее глинистого раствора. По достижении проектной отметки ножи раскрываются и, вращаясь, образуют уширение в нижней части скважины. По окончании бурения ножи складываются и извлекаются из скважины. В скважину опускается арматурный каркас и производится заполнение бетоном.

При устройстве камуфлетных свай стальная или железобетонная оболочка погружается до необходимой глубины, затем в нижнюю ее часть погружается заряд взрывчатого вещества с электродетонатором оболочка заполняется пластичным бетоном, и затем заряд взрывается. Пространство, освободившееся взрывом у острия сваи, заполняется бетоном, который сползает под действием собственного веса. В результате на конце

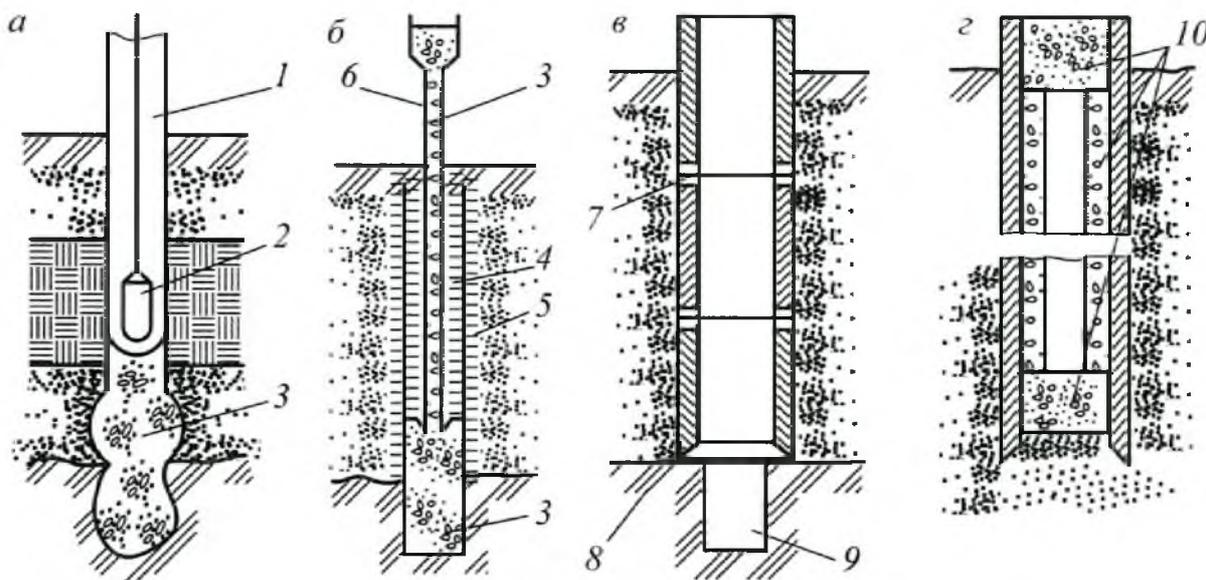


Рис. 3.11. Буровые сваи и оболочки:

а — буровая свая с обсадной трубой; *б* — буровая свая без обсадной трубы; *в* — железобетонная оболочка; *г* — железобетонная оболочка, частично заполненная бетоном; *1* — обсадная труба; *2* — трамбовка; *3* — уложенный в скважину бетон; *4* — глинистый раствор; *5* — глинизированная стенка скважины; *6* — труба для подачи бетонной смеси в скважину; *7* — стык звеньев; *8* — скальный грунт; *9* — буровая скважина; *10* — частичное заполнение бетоном

сваи образуется грушевидное уширение, монолитно связанное с ее стержнем и распределяющее давление на грунт.

Винтовые сваи состоят из металлического ствола с винтовой лопастью на конце, служащей для погружения (ввинчивания) сваи в грунт. Ствол представляет собой трубу диаметром 40—60 см. Погружение сваи производится с помощью механизма — кабестана, который одевается на голову сваи. После достижения заданной отметки из полого ствола сваи извлекается грунт и ствол заполняется бетоном.

3.3.3. Фундаменты глубокого заложения

Если плотные слои грунта, годные для надежного опирания фундамента, залегают глубоко, устраиваются фундаменты глубокого заложения. К ним относятся сборные железобетонные оболочки, опускные колодцы, кессоны.

Сборные железобетонные оболочки представляют собой тонкостенный железобетонный цилиндр, погружаемый в грунт вибропогружателем на глубину 30—50 м и более.

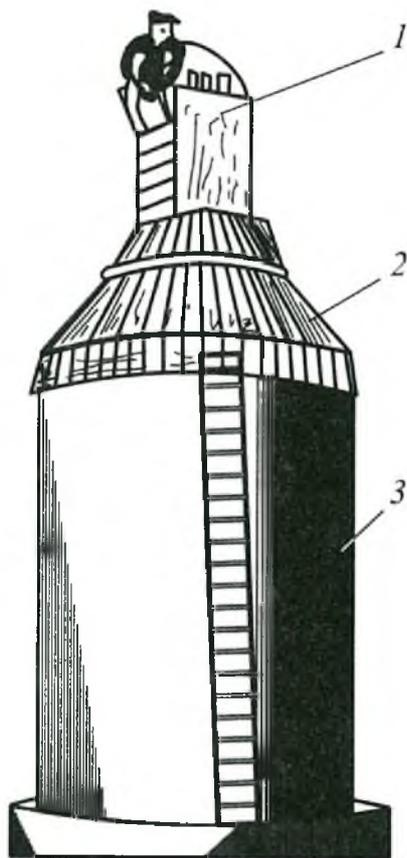


Рис. 3.12. Погружение оболочки:

1 — вибропогружатель;
2 — наголовник; 3 — оболочка

Применение сборных оболочек позволяет полностью механизировать работы, сократить сроки постройки фундаментов, снизить расход бетона по сравнению с кессонными фундаментами. Оболочки диаметром до 2 м полностью заполняются бетоном. В оболочках большого диаметра стенки делаются утолщенными до 0,8—0,9 м. Как правило, толщина стенок оболочек составляет 12—16 см, длина звеньев 6—10 м. Стенки оболочек армируются продольной и поперечной арматурой. В качестве продольной арматуры используются стержни гладкого или периодического профиля. Секции оболочек стыкуются фланцевыми болтами или сваркой соответствующих выпусков продольной арматуры. При опирании оболочки на скальный грунт в основании оболочки пробуривается скважина, в которую вставляется арматурный каркас, после чего полость скважины и оболочки заполняется бетоном (рис. 3.12).

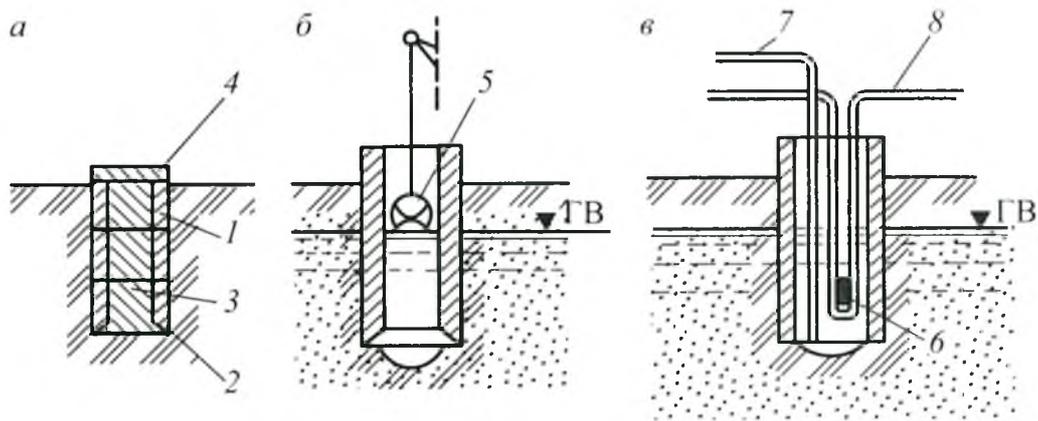


Рис. 3.13. Опускной колодец:

а — конструкция; *б* — разработка грунта грейфером; *в* — разработка грунта гидроэлеватором; 1 — стенка; 2 — нож; 3 — заполнение; 4 — железобетонная плита; 5 — грейфер; 6 — гидроэлеватор; 7 — подмывная труба; 8 — труба для пульпы

Опускной колодец (рис. 3.13) представляет собой полый бетонный ящик, имеющий только ограждающие стенки. Он устанавливается на грунт с таким расчетом, чтобы верхний обрез его возвышался над уровнем воды. Внутри колодца производится разработка грунта либо грейфером, либо гидромеханизированным способом. По мере удаления грунта из колодца он под действием собственного веса опускается, а стенки его наращиваются. Опускные колодцы бывают бетонные или железобетонные прямоугольного или кольцевого очертания в плане. При значительных размерах в плане колодцы разделяются внутренними перегородками на отдельные шахты, что уменьшает свободный пролет наружной стенки, работающей на изгиб. Для лучшего проникновения в грунт нижняя часть стенок колодца выполняется в форме ножа и армируется. Глубина заложения колодцев весьма значительна — до 70 м.

После опускания колодца на требуемую глубину производится подводное бетонирование нижней части, после чего производится откачка воды и заполнение шахт на всю высоту бетонной или каменной кладкой. Сверху шахты колодца перекрываются мощной железобетонной плитой, на которой возводится опора.

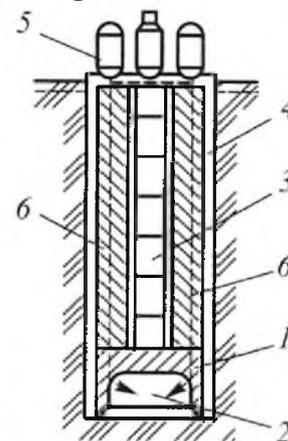


Рис. 3.14. Кессонная установка:

1 — кессон; 2 — рабочая камера; 3 — шахта; 4 — надкессонная кладка; 5 — шлюзовой аппарат; 6 — воздухопровод

Кессоны представляют собой прочную водонепроницаемую камеру, образованную боковыми стенками и потолком. В камеру нагнетается сжатый воздух, который вытесняет воду и позволяет вести работы внутри камеры насухо. Для сообщения камеры с атмосферой служит шлюзовый аппарат. Разрабатываемый внутри камеры грунт подается на поверхность либо через шлюзовый аппарат в бадьях, либо (при гидромеханизированном способе) пульпа (смесь грунта и воды) откачивается по трубам под напором. По мере опускания кессона наращивается надкессонная кладка. Под действием возрастающего веса кессон постепенно опускается. По достижении проектной отметки камера кессона заполняется бутобетоном. Кессонные работы вредны для здоровья людей, так как они вызывают кессонную болезнь. Применение гидромеханизации для разработки грунта в кессонах гидромониторами и удаление пульпы землесосами или гидроэлеваторами, минуя шлюзовые аппараты, позволяет обходиться без людей в кессоне. Кессоны и опускные колодцы до недавнего времени применяли при необходимости заложения глубокого фундамента, в сложных геологических условиях, загрязняющих устройство открытого котлована, или при нецелесообразности применения свайного основания или оболочек. На сухих местах колодцы опускали непосредственно с поверхности грунта, а в речной части — со специальных отсыпанных островков.

3.4. Опорные части

Опорные части мостов в зависимости от возложенных на них функций делятся на подвижные и неподвижные (рис. 3.15, 3.16).

Конструкция подвижных опорных частей должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать свободное продольное перемещение опорного сечения пролетного строения, обусловленное деформацией от нагрузки или температурных воздействий;
- обеспечивать беспрепятственный поворот опорного сечения пролетного строения на угол λ , возникающий от изгиба пролетного строения;
- препятствовать смещению пролетного строения в поперечном к оси моста направлении;
- передавать сосредоточенные опорные давления с пролетного строения на опору, распределяя его на опорную площадку.

Конструкции неподвижных опорных частей должны обеспечивать беспрепятственный поворот опорного сечения, препятствовать смеще-

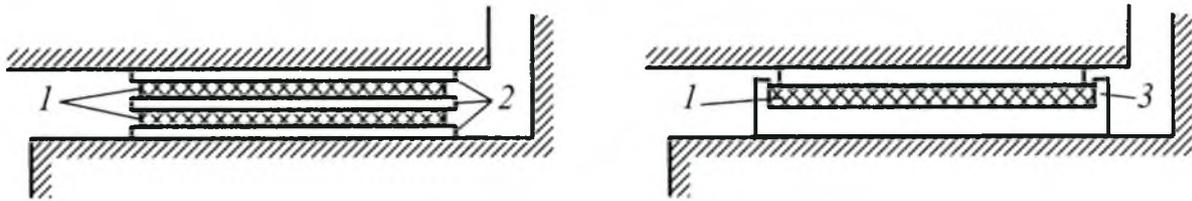


Рис. 3.15. Резиновые опорные части:

1 — стальные листы; 2 — резиновые прокладки; 3 — стальная обойма

нию пролетного строения в поперечном к оси моста направлении, передавать сосредоточенные опорные усилия с пролетного строения на опору, распределяя его на опорную площадку, и, кроме того, фиксировать пролетное строение на опоре.

Опорные части выполняют из различных материалов: стали, железобетона, резины и др. С целью снижения сил трения в опорных частях используют фторопласт или другие синтетические материалы. Для небольших пролетных строений (до 9 м) допускается устройство недорогих, простых в изготовлении и эксплуатации плоских опорных частей из стальных листов толщиной не менее 20 мм. В нижней стальной лист впрессовывается штырь диаметром 50 мм, а в верхнем листе просверливается круглое отверстие в неподвижной опорной части и вырезается овальное отверстие в подвижной.

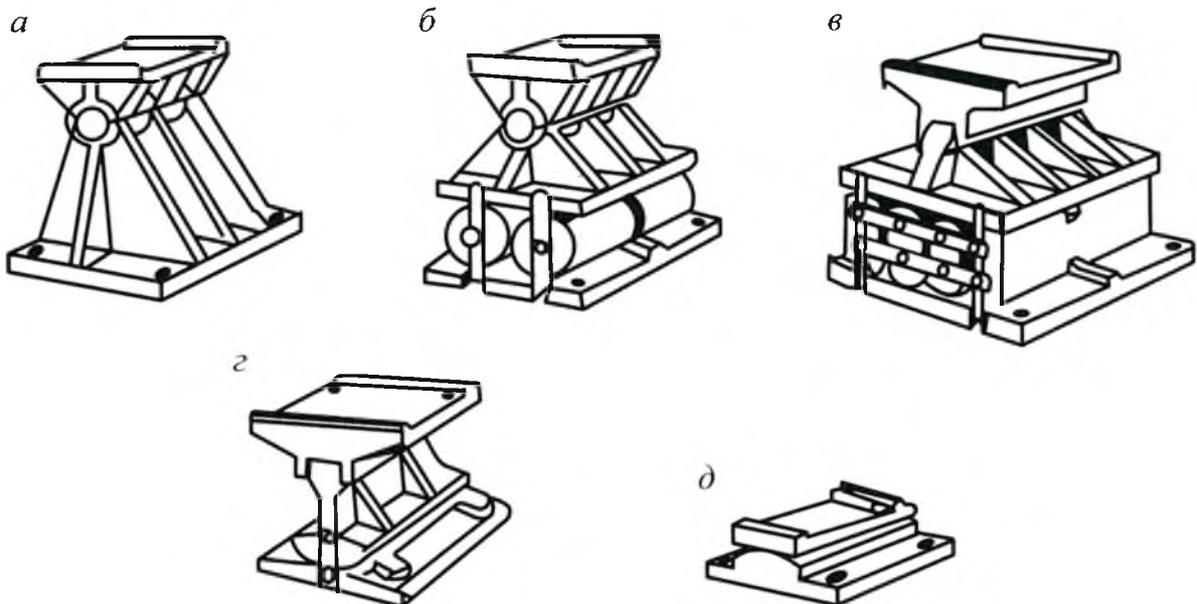


Рис. 3.16. Катковые опорные части:

а — неподвижная с шарниром; б — подвижная катковая; в — подвижная со срезными катками; г — подвижная секторная; д — тангенциальная

Для пролетных строений пролетами 9—18 м используются опорные части тангенциального типа. Толщина стальных листов в этом случае должна быть не менее 50 мм; нижний лист обрабатывается по круговой кривой. Фиксация верхнего балансира, как и в плоских опорных частях, обеспечивается с помощью стального штыря, запрессованного в нижний балласт. Стальные опорные части выпускаются двух типов: литые и сварные.

Для опирания железобетонных пролетных строений длиной более 18 м и стальных более 25 м используются катковые опорные части. В зависимости от опорных реакций число катков может меняться от одного до четырех. Диаметр катков 100—200 мм.

Подвижные опорные части могут быть секторными. Для пролетных строений больших длин применяются шарнирно-катковые подвижные опорные части стаканного типа, в которых угол поворота обеспечивается деформацией резинового вкладыша, а продольное смещение — фторопластовой прокладкой, имеющей низкий коэффициент трения.

В настоящее время наряду с традиционными металлическими опорными частями применяются опорные части из полимерных материалов. В зависимости от конструктивного оформления полимерные опорные части могут быть деформируемыми, скользящими и комбинированными. Полимерные опорные части обладают большими возможностями, чем стальные. Скользящие опорные части имеют антифрикционную прокладку из фторопласта. Комбинированные опорные части выполняются из резиновых и стальных элементов с включением фторопластовых прокладок. Однако в железнодорожных мостах, как правило, применяются более надежные стальные опорные части.

3.5. Постройка опор мостов

В комплекс работ по постройке опор входят:

- разбивка осей опор;
- возведение фундаментов;
- сооружение опор выше обреза фундамента;
- устройство облицовки.

Перед сооружением моста производятся работы по разбивке продольной оси моста, подходов к нему и осей опор. Положение осей надежно закрепляется на весь период строительства врытыми в землю выносными столбами. При разбивке опор малого моста непосредственным промером от ближайшего пикета определяются точки пересечения поперечной оси каждой опоры с осью пути (рис. 3.17, 3.18). С помощью теодо-

лита производится разбивка поперечных осей, положение которых закрепляется выносными столбами по обе стороны пути. Высотная разбивка опор (отметки подошвы и обреза фундамента и др.) производится нивелированием по реперу. Репер — деревянный или бетонный столбик, надежно врытый в землю; на верхней части репера указывается его отметка.

Разбивка котлованов фундаментов опор мостов, расположенных на суходолах, поймах или островках, может производиться при помощи досок, пришиваемых к столбам или сваям, установленным вокруг опоры на расстоянии 1—1,5 м от границы котлована. Оси опор и боковые грани выносятся на эти доски, называемые обноской, и закрепляются на них зарубками или гвоздями, по которым в процессе работы натягиваются проволоочные чалки. Пересечение чалок определяет положение осей и боковых граней опор. Правильность геометрической формы опоры проверяется с помощью отвеса и уровня.

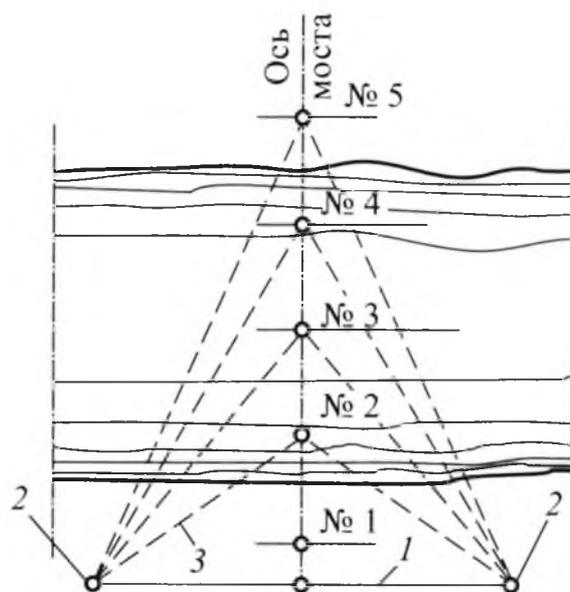


Рис. 3.17. Разбивка центров опор посредством засечек:
1 — базис; 2 — теодолит; 3 — визирная ось; № 1—5 — номера опор

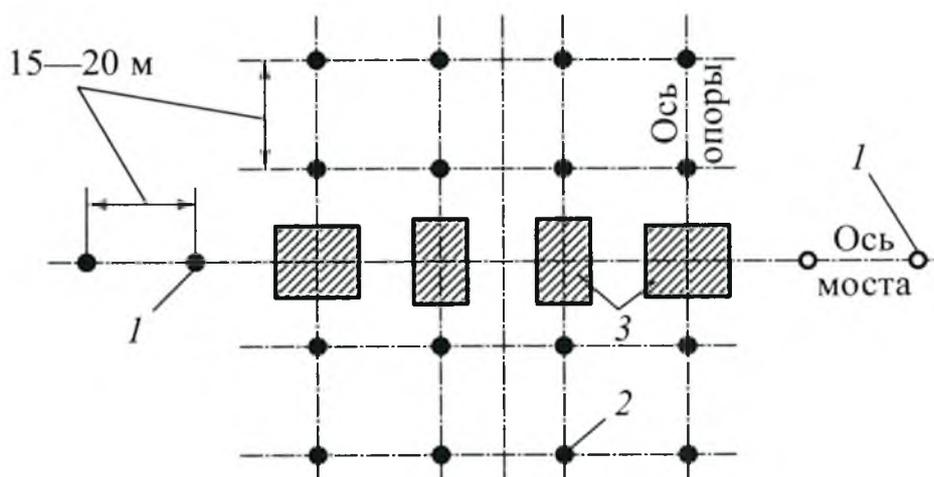


Рис. 3.18. Разбивка осей опор малых мостов:
1 — столбы закрепления продольной оси; 2 — столбы закрепления поперечных осей; 3 — фундамент опоры

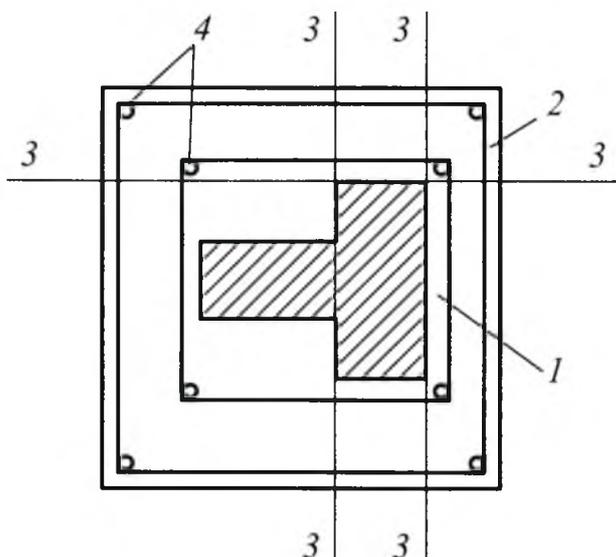


Рис. 3.19. Разбивка фундамента в котловане:

1 — котлован; 2 — обноска; 3 — чалки;
4 — столбы

Продольная ось средних и больших мостов закрепляется с помощью створных столбов, расположенных по два на каждом берегу. Измерение углов при разбивке производится теодолитом, а измерение расстояний — мерной проволокой, стальной лентой или рулеткой не менее двух раз с вычислением точности измерения. Все измерения вдоль оси моста производятся от одного створного столба, расположенного на продольной оси и связанного с пикетажем линии. При невозможности непосредственности измерений разбивка опор

производится теодолитом (рис. 3.19).

В сухих и маловлажных грунтах котлованы устраиваются без креплений с крутизной откосов, принимаемой в зависимости от глубины котлована и рода грунта.

В котлованах глубиной до трех метров и шириной до четырех метров при естественной влажности грунтов применяется крепление горизонтальными досками, удерживаемыми стойками и распорками, опирающимися на бобышки. В случае необходимости крепления стенок широких котлованов, когда распорки не могут быть поставлены, опорные стойки укрепляются подкосами. Если по условиям организации работ установка подкосов невозможна, то верх стоек крепится к забиваемым на некотором расстоянии от бровки котлована сваям-анкерам при помощи досчатых схваток. Деревянные крепления применяют для крепления неглубоких котлованов. Для котлованов глубиной более 5 м применяются инвентарные металлические конструкции креплений.

Разработка грунта в котлованах производится, как правило, механизированным способом экскаваторами (драглайнами или обратной лопатой) с недобором грунта на 0,1—0,2 м. Зачистка и планировка дна котлована производится вручную. Для удаления грунтовой воды, поступающей в котлован, в нем устраивают углубление — приямок — откуда вода откачивается насосами. Количество воды, поступающее в котлован

через дно и шпунтовое ограждение, зависит от водопроницаемости грунтов, уровня грунтовых вод и качества шпунтового ограждения.

В некоторых случаях на местности, покрытой водой, применяют защиту котлована временными грунтовыми перемычками. Грунтовые перемычки сооружают при глубине воды до 2 м. Ширина грунтовой перемычки поверху назначается не менее 1 м. Крутизна откосов со стороны котлована не круче 1:1, со стороны воды — 1:2; возвышение перемычки над рабочим горизонтом воды не менее 0,7 м. При устройстве фундаментов в огражденном шпунтом котловане работы по укладке бетона производятся с водоотливом. При большой глубине воды, а также при сильной донной фильтрации применяется подводное бетонирование; наиболее применим метод подводного бетонирования по вертикальным трубам диаметром 20—30 см. Нижний конец трубы всегда должен находиться ниже уровня уже уложенного бетона, а вся труба должна быть загружена бетонной смесью на полную высоту. Радиус действия одной трубы 3—4 м.

Погружение свай при устройстве фундаментов может производиться посредством забивки. Для забивки свай применяют свайные молоты, краны, оборудование для подмыва. Для поддержания свейного оборудования используются специальные строительные машины — копры.

Свайные молоты по конструкции делятся на четыре основных типа: подвесные, паровоздушные одностороннего и двойного действия, дизельные.

Подвесной молот представляет собой чугунную отливку весом 100—400 кг, передвигающуюся в направляющих стрелах копра; молот поднимается тросом на высоту 3—4 м и, свободно падая, ударяет по свае.

Копер — строительная машина для подъема свай, удержания ее в нужном положении, а также для подъема свайного молота и правильного его направления (рис. 3.20).

В молотах одиночного действия давлением пара или сжато-

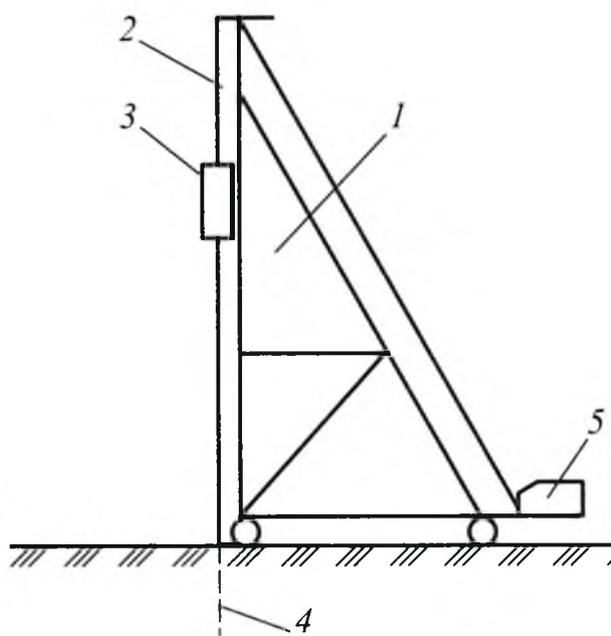


Рис. 3.20. Забивка свай:

1 — копер; 2 — направляющая стрела; 3 — свайный молот; 4 — свая; 5 — лебедка

го воздуха производится подъем ударной части молота. Рабочий ход (удар по свае) происходит при свободном падении молота под действием собственного веса. В молотах двойного действия ударной частью является поршень, который перемещается под действием пара или сжатого воздуха. Благодаря большой частоте ударов молоты двойного действия обладают высокой производительностью. Эти молоты не требуют направляющих устройств, они устанавливаются на голове сваи.

Широкое применение получили дизель-молоты, не нуждающиеся в специальных установках для получения пара или сжатого воздуха.

Подмыв сваи применяется в песчаных и гравелистых грунтах (рис. 3.21). Подмывные трубы располагаются либо центрально, либо с боков сваи. Подмывные трубы снабжены наконечниками. Под действием

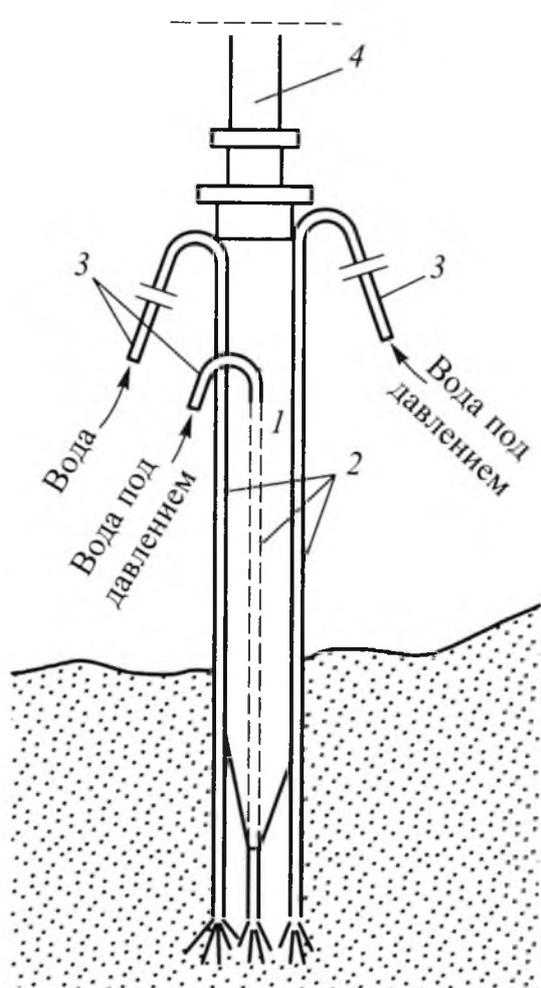


Рис. 3.21. Погружение сваи подмывом:
1 — свая; 2 — подмывные трубы;
3 — трубопровод; 4 — молот

струи воды грунт у острия сваи разрыхляется, взмучивается и частицы его выносятся наружу с выходящей водой вдоль сваи, уменьшая трение грунта. В результате под действием слабых ударов молота свая погружается в пространство, вымытое под ее острием.

Вибропогружение сваи производится с помощью вибратора, жестко прикрепленного к голове сваи. Для вибропогружения требуется копер и источник электроэнергии.

Завинчивание сваи осуществляется с помощью кабестана, надеваемого на голову сваи.

Сооружение фундаментов из оболочек. Устройство фундаментов из готовых оболочек заключается в их погружении в грунт, удалении грунта из внутренней полости и заполнении оболочки бетоном. Оболочки диаметром от 0,4 до 2,0 м и длиной 8—12 м изготавливают в заводских условиях способом

центрифугирования. Оболочки диаметром от 1,6 до 5 м и длиной до 12 м изготавливают на полигоне в металлических формах в вертикальном положении. При изготовлении секций оболочек в металлической форме сначала собирается внутренняя опалубка, затем монтируется на опалубке арматурный каркас, после этого собирается наружная опалубка. Укладка бетона в опалубку производится с обязательным его уплотнением глубинными вибраторами. После выдержки и пропаривания бетона опалубка разбирается, и готовые оболочки транспортируют на место установки.

Оболочки устанавливают отдельными секциями, соединяемыми фланцами на болтах или сваркой. Погружение оболочек осуществляется вибрационным способом. В результате работы вибропогружателя, прикрепленного к верхнему концу оболочки, создается вертикальная возмущающая сила, которая вызывает вибрацию оболочки и окружающего грунта, вследствие этого оболочка преодолевает лобовое сопротивление и погружается в грунт.

Тип и мощность вибропогружателя подбирается так, чтобы величина его возмущающей силы превосходила полный вес оболочки, наголовника и вибропогружателя в 1,5—2 раза. Вибропогружатель ВП-3 способен опустить оболочку диаметром 1,6 м в грунты средней плотности на 10—15 м. Для погружения крупных оболочек применяют спаренные вибропогружатели, действующие синхронно. При значительной глубине воды (более 2 м) для погружения оболочек используют плавсредства. При погружении оболочки на глубину 3—5 м вибропогружатель снимается, а затем из внутренней полости оболочки выбирается грунт либо грейфером, либо способом гидромеханизации, и внутреннее пространство заполняется бетоном.

Бетонирование тела опор. Так как бетон до затвердевания является пластичным материалом, бетонные, бутобетонные и железобетонные монолитные опоры сооружаются в опалубке.

Опалубка бывает 3 видов:

- стационарная деревянная опалубка, устраиваемая из заранее изготовленных дощатых щитов;
- разборно-переставная металлическая или деревянная опалубка (инвентарная);
- подвижная (скользящая) дерево-металлическая опалубка, передвигаемая (поднимаемая) по мере бетонирования.

Щитовая сборно-разборная деревянная опалубка устраивается из дощатых щитов, соединенных в четверть, чтобы не допустить вытека-

ния цементного молока. Для соединения элементов опалубки применяют гвозди, болты. Внутренняя поверхность опалубки должна быть гладкой (оструганной) и покрытой побелкой для уменьшения сцепления бетона с деревянной опалубкой.

Инвентарная сборно-разборная опалубка состоит из металлической обшивки толщиной 2—3 мм и каркаса из уголков и швеллеров.

Скользящая (подвижная) опалубка применяется для бетонирования промежуточных опор; состоит из щитовой обшивки (металлической или деревянной) и каркаса. По мере бетонирования опалубка поднимается с помощью винтовых домкратов, скрепленных с каркасом опалубки и опирающихся на упорные стержни, заделываемые в кладке опоры. Уровень бетона в подвижной опалубке поддерживается на 20—25 см ниже верхнего края опалубки.

Транспортирование бетона организуется таким образом, чтобы не произошло расслоения бетонной смеси и чтобы к моменту укладки эта смесь не начала схватываться. Подача бетона к месту укладки должна производиться непрерывно, не задерживая бетонирование. Продолжительность транспортирования с момента выгрузки из бетономешалки до момента окончания уплотнения не должна превышать 1 час.

Технология бетонирования монолитных опор. Бетонирование производится непрерывно горизонтальными слоями на всей площади опоры в плане, с полным перекрытием одного слоя другим, до начала схватывания бетонной смеси обоих слоев. Высота свободного падения смеси не должна превышать 3 м; при большей высоте спуск бетонной смеси осуществляется по трубам или звеньевым хоботам. Для уменьшения динамического воздействия падающей бетонной смеси на уложенный бетон применяются подвесные сетки-гасители с размером ячеек в свету, превышающим в 1,5—2 раза размер крупного заполнителя. После укладки очередного слоя бетона он тщательно уплотняется вибрированием, шаг перестановки вибраторов не должен превышать полуторного радиуса их действия.

Бетон должен быть уплотнен равномерно по всему телу. При сооружении бетонных и бутобетонных опор необходимо организовать работу так, чтобы кладка велась на всю высоту опор без перерыва, т.е. без устройства технологических швов. Перерывы в бетонировании, которые иногда допускаются при возведении опор, в период эксплуатации могут вызывать появление вертикальных и горизонтальных трещин в теле опоры. Для ускорения твердения и повышения прочности бетона применяются следующие методы:

- использование цемента с повышенной активностью и повышенной экзотермией (выделением тепла);
- применение жестких бетонов с В/Ц 0,35-0,45;
- введение в бетон ускорителей твердения;
- увеличение времени перемешивания бетонной смеси в бетоносмесителе на 30 %.

Бетонирование при отрицательных температурах производится с использованием бетонов и растворов, твердеющих на морозе, или с предварительным подогревом составляющих бетонной смеси (воды, заполнителей), что обеспечивает бетону при его укладке положительную температуру. Преждевременное замерзание бетона до достижения им 70 % проектной прочности не допускается.

В зимних условиях при отрицательных температурах воздуха устройство бетонных и железобетонных монолитных опор осуществляется способом термоса, т.е. в утепленной опалубке или под защитным покрытием.

По способу термоса нагретый до 40—60 °С бетон непрерывно укладывается на открытом воздухе в утепленную опалубку. По окончании укладки бетон укрывается. Тепло, полученное при подогреве и выделяемое бетоном, создает нормальные условия для твердения. Иногда используется бетонирование в тепляках, где создается теплая и влажная среда с температурой не ниже +10 °С. Может применяться обогрев уложенного бетона паром, циркулирующим между двойными стенками опалубки.

Устройство облицовки (рис. 3.22). Для защиты поверхности бетонной, бутобетонной и железобетонной кладки опор применяются следующие виды облицовки:

- массивная — из натурального камня или бетонных блоков, которые устанавливаются одновременно с кладкой сооружения;
- навесная — из натурального камня, бетонных блоков или железобетонных плит, устанавливаемых после возведения ядра сооружения;
- облицовка из тонких железобетонных плит — облицовка-опалубка, которая устанавливается до возведения ядра кладки.

Наиболее распространенными каменными материалами для облицовки опор являются гранит, песчаник и плотный известняк. Лицевые грани камней обрабатываются различными способами: в «шубу», чистой и получистой тески, для малых мостов применяется циклопичес-

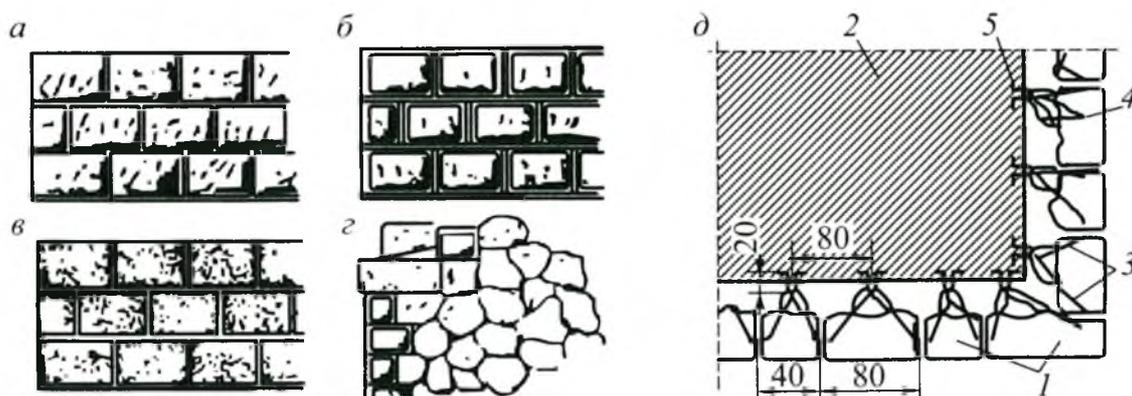


Рис. 3.22. Устройство облицовки опор:

a — в «шубу» (в прикол); *б* — в «шубу» с лентой; *в* — чистой (получистой) тески; *г* — в подбор; *д* — крепление блоков облицовки к телу опоры; *1* — блоки облицовки; *2* — кладка опоры; *3* — анкеры; *4* — проволока; *5* — петли

кая облицовка в подбор. При обработке в «шубу» облицовка имеет бугристую поверхность с впадинами и выпуклостями высотой от 15 до 100 мм.

Навесная облицовка устанавливается после окончания кладки опоры. Крепление естественных камней облицовки между собой и с ядром кладки осуществляется с помощью металлических анкеров. Каждый камень облицовки крепится к кладке не менее чем в двух точках. Установка облицовочных камней производится на клинья на высоту одного ряда, после чего камни скрепляются между собой и с ядром кладки. Следующий ряд облицовки ставится после закрепления нижнего ряда и заполнения раствором или бетоном промежутков между камнями и ядром. Бетонные блоки для навесной облицовки делаются толщиной не менее 20 см. Для облицовки опор используются бетонные блоки и плиты с гранитной крошкой. Для заполнения швов между камнями облицовки употребляются портландцементный раствор.

Тонкие железобетонные облицовочные плиты, используемые в качестве опалубки, имеют толщину не менее 8 см и армируются по расчету на давление бетона. Это наиболее современный и распространенный в новом строительстве вид облицовки.

Глава 4 ВОДОПРОПУСКНЫЕ ТРУБЫ

4.1. Общие сведения о трубах

Трубы представляют собой малые водопропускные сооружения, располагаемые в насыпях дорог. Трубы, как правило, состоят из следующих основных частей: входного и выходного оголовка (для обеспечения плавного ввода потока в трубу и вывода водного потока из трубы), тела трубы и фундамента трубы. Водопропускная способность труб зависит от формы и размеров отверстия, типа оголовков, глубины воды перед трубой, скорости течения воды на выходе из трубы и других условий.

Величина отверстия трубы определяется гидравлическим расчетом в зависимости от расчетного расхода водного потока и допускаемой скорости течения воды. Длина средней части трубы определяется геометрическим расчетом в зависимости от ширины насыпи по подошве и длины входного и выходного оголовка (рис. 4.1).

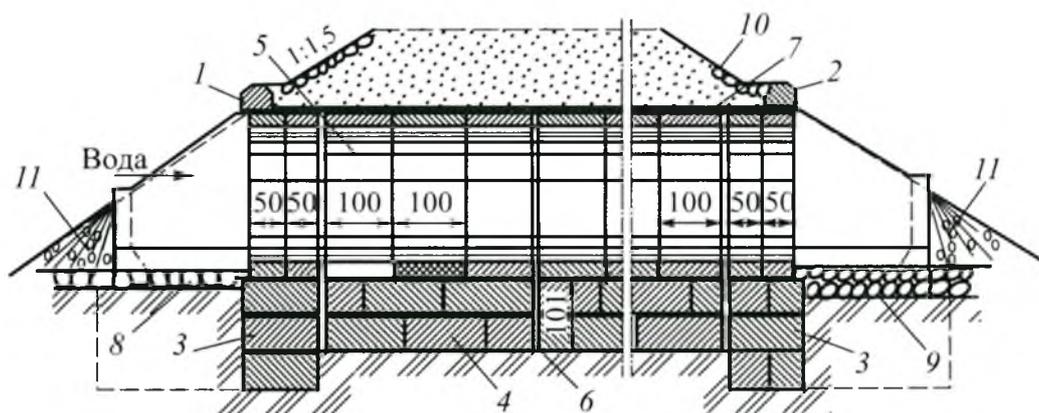


Рис. 4.1. Конструкция водопропускной трубы:

- 1 — входной оголовок; 2 — выходной оголовок; 3 — фундамент оголовка;
- 4 — фундамент трубы; 5 — звено; 6 — деформационный шов;
- 7 — гидроизоляция; 8 — одиночное мощение у входного оголовка; 9 — двойное мощение у выходного оголовка; 10 — укрепление откоса выше оголовка;
- 11 — укрепление откоса ниже оголовка

Для предотвращения изгиба тело трубы делят на секции длиной не более 5 м. Швы между секциями заполняют упругим гидроизоляционным материалом, чтобы вода из труб не просачивалась в насыпь и не разжижала грунт. Соприкасающиеся с грунтом поверхности трубы покрывают гидроизоляцией, чтобы вода из насыпи не разрушала кладку труб.

Во избежание застоя воды лоток трубы устраивают таким образом, чтобы отметка дна посередине трубы была меньше отметки дна у входного оголовка и больше, чем отметка дна лотка у выходного оголовка. Высота насыпи при устройстве труб принимается не менее высоты трубы плюс толщина засыпки, которая должна быть не менее 1 м, считая от верха звена трубы до подошвы рельса. Кроме того, высота насыпи должна быть не менее глубины воды перед трубой (подпора) с учетом высоты волны плюс возвышение бровки земляного полотна, которое принимается по СНиП (не менее 0,5 м при безнапорном режиме работы трубы, а при полунапорном и напорном режимах — не менее 1 м).

В зависимости от скорости течения воды на выходе из трубы русло и откосы насыпи должны укрепляться одерновкой, каменным мощением или бетонными плитами. Для уменьшения объемов работ по укреплению у выходного оголовка устраивается ковш (углубление), заполненный камнем (рис. 4.2). Глубина ковша принимается равной глубине местного размыва грунта у конца укрепления. У каждого конца трубы при высоте насыпи более 2 м устраивается один лестничный сход шириной 0,75 м.

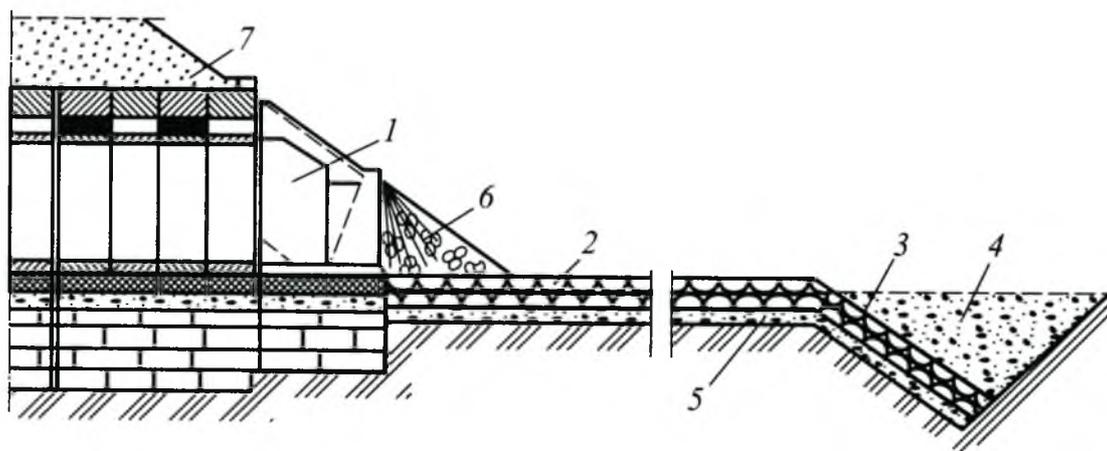


Рис. 4.2. Укрепление русла водотока на выходе из трубы:

- 1 — выходной оголовок; 2 — мощение русла; 3 — предохранительный ковш;
 4 — каменное заполнение ковша; 5 — песчано-гравийная подготовка под мощением русла; 6 — крепление откосов ниже оголовка; 7 — крепление откосов выше оголовка

Трубы применяются в любых климатических, топографических и геологических условиях, на любых участках плана и профиля дорог при значительных высотах насыпи, для пропуска временных (периодически действующих) и постоянных водотоков, но при отсутствии ледохода. Трубы применяются также для пешеходных переходов и прогона скота, для проезда автотранспортных средств и сельскохозяйственных машин, для прокладки трубопроводов и других коммуникаций.

Водопропускные трубы имеют несложную, надежную и долговечную конструкцию. Их можно возводить индустриальным, комплексномеханизированным, поточно-скоростным методом, существенно снижающим трудоемкость и продолжительность строительства. Выбор между трубой и малым мостом производится на основании сравнения их технико-экономических показателей. На малых водотоках трубы, как правило, имеют значительно меньшую стоимость, чем мосты с увеличением насыпи, выгода применения труб возрастает.

Эксплуатация труб проще и дешевле эксплуатации мостов. Путь над трубами имеет такую же конструкцию, как на прилегающей насыпи, что упрощает его содержание. Трубы менее, чем мосты, чувствительны к динамическому воздействию и увеличению временной подвижной (от подвижного состава) нагрузки. Благодаря хорошим строительным и эксплуатационным качествам трубы являются наиболее распространенными водопускными сооружениями. В зависимости от рельефа местности на 1 км дороги приходится от 0,4 до 1,2 трубы. Количество труб на дорогах нашей страны составляет 70 % всех водопускных сооружений. В общем комплексе строительства железных дорог стоимость строительства водопускных сооружений доходит до 22 %.

До первой четверти 20 века были распространены каменные трубы, позже стали применяться железобетонные трубы. В 1936 году были разработаны первые типовые проекты круглых железобетонных труб диаметром 1—2 м, звеньями длиной 1 м для железных дорог. С 1962 года получили распространение типовые унифицированные сборные железобетонные и бетонные трубы круглого и прямоугольного сечения, разработанные институтом Ленгипротрансмост.

Первые металлические трубы были чугунными, в дальнейшем их вытеснили стальные гофрированные (гибкие) трубы. В России первые гофрированные трубы появились в 1875 г. диаметром 0,53 и 1,07 м. Металлические трубы подвержены вредным воздействиям агрессивных вод, блуждающих токов, атмосферной и грунтовой коррозии. Однако специ-

альными мероприятиями по защите металла от коррозии удастся увеличить срок их службы до 40—50 лет. Железобетонные трубы долговечнее металлических. На заводах освоена технология изготовления круглых железобетонных звеньев труб диаметром до 1,5 м на вибростанках.

4.2. Виды труб

Водопропускные трубы классифицируют по следующим признакам:

- по характеру протекания водотока в трубе;
- по форме отверстия трубы (рис. 4.3);
- по числу водопропускных отверстий;
- по конструктивному оформлению входа водотока в трубу и выхода из нее (рис. 4.4, 4.5, 4.6);
- по характеру инженерно-геологических условий;
- по материалу;
- по способу сооружения.

По характеру протекания водотока в трубе (режиму) трубы делятся на безнапорные, полунанпорные, напорные. Безнапорные трубы работают неполным сечением, полунанпорные работают полным сечением на входе в трубу и неполным на остальном протяжении трубы. Напорные трубы работают полным сечением на всем протяжении трубы.

По форме поперечного сечения существующие, ранее построенные трубы подразделяются на круглые, прямоугольные, трапециевидные, треугольные, овоидальные, с вертикальными стенками и сводами, эллиптические и др. В современных условиях строятся круглые и прямоугольные трубы.

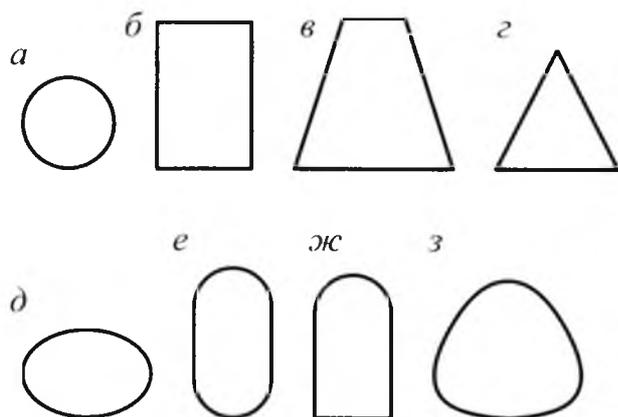


Рис. 4.3. Формы водопропускного отверстия труб:

- a* — круглая; *б* — прямоугольная; *в* — трапециевидная; *г* — треугольная; *д* — эллиптическая; *е* — овоидальная; *ж* — с вертикальными стенками и сводом; *з* — арочная

эллиптические и др. В современных условиях строятся круглые и прямоугольные трубы.

По числу водопропускных отверстий трубы бывают одно-, двух-, трехочковыми.

По конструктивному оформлению входа потока в трубу и выхода из нее трубы бывают с оголовками и без оголовков.

Виды оголовков. В зависимости от положения откосных стенок (крыльев) оголовки делятся на порталные — со стенкой,

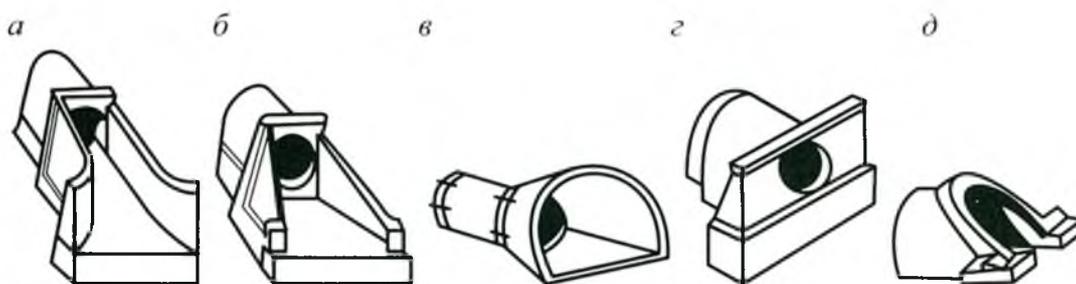


Рис. 4.4. Виды оголовков водопропускных труб:
a — коридорный; *б* — раструбный; *в* — конический; *г* — порталый;
д — воротниковый

перпендикулярной оси водотока, раструбные — со стенками, расположенными под углом к продольной оси трубы, и коридорные — со стенками, параллельными оси трубы. Раструбные оголовки обеспечивают плавный вход водного потока в трубу, оказывают меньшее сопротивление потоку, что повышает водопропускную способность трубы.

По виду входного звена оголовки бывают с нормальным звеном, высота которого равна высоте звеньев средней части трубы; повышенным звеном и коническим звеном. Трубы с повышенным и коническим входным звеном имеют большую водопропускную способность, чем трубы с нормальным звеном.

На водотоках с незначительными расходами воды трубы могут быть без оголовков с вертикальным срезом, выступающим из насыпи, или иметь воротниковые оголовки с наклонным срезом в плоскости откоса насыпи, а также с повышенным или коническим звеном без откосных стенок.

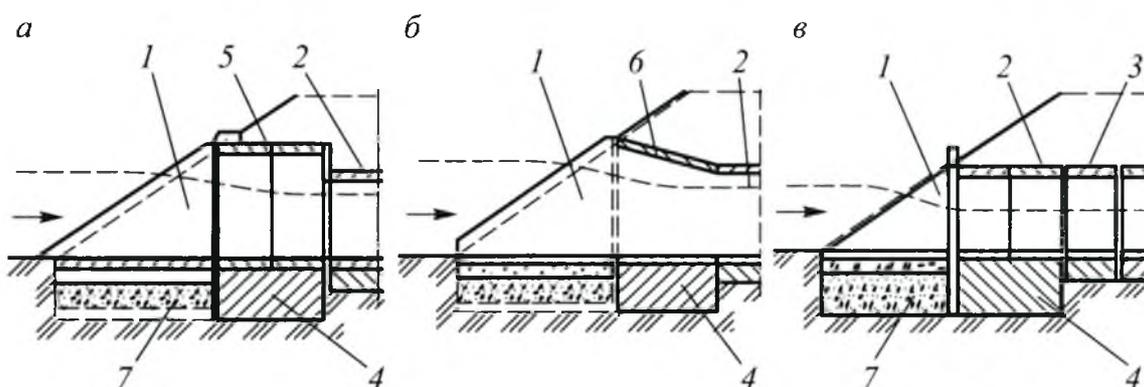


Рис. 4.5. Трубы с различной конструкцией входного звена:
a — труба с повышенным входным звеном; *б* — труба с коническим входным звеном; *в* — труба с нормальным входным звеном; *1* — откосная стенка; *2* — секция трубы; *3* — нормальное звено; *4* — фундамент; *5* — повышенное звено; *б* — коническое звено

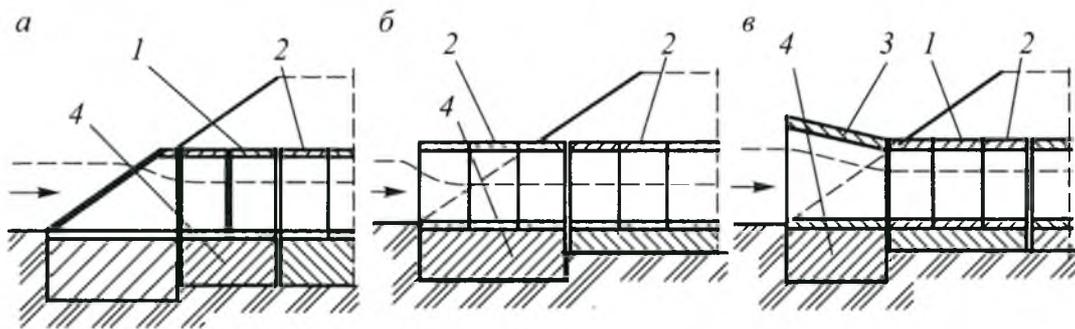


Рис. 4.6. Виды труб без оголовок:

a — труба без оголовка с наклонным торцом; *б* — труба без оголовка с вертикальным торцом; *в* — труба с повышенным или коническим входным звеном без откосных стенок; 1 — секция трубы; 2 — нормальное звено; 3 — коническое звено; 4 — фундамент

В зависимости от инженерно-геологических условий трубы могут быть с фундаментами на естественном основании или со свайными фундаментами, а также без фундаментов с укладкой звеньев на железобетонные плиты или лекальные блоки, либо на грунтовые подушки (ложе), спланированные по очертанию трубы. По материалу различают трубы деревянные, каменные, железобетонные, бетонные и металлические. По способу постройки трубы делятся на сооружаемые из материалов на месте и сборные из блоков, изготовляемых на заводе. Для пропуска небольших водотоков через неглубокие выемки устраиваются дюкеры, состоящие из двух колодцев, соединенных трубой, проходящей под полотном дороги.

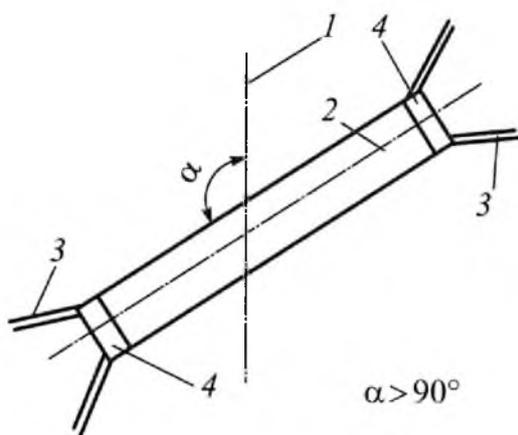


Рис. 4.7. Схема кривой трубы:
1 — ось дороги; 2 — ось трубы;
3 — откосная стенка; 4 — индивиду-
альные оголовки

Косые трубы. Эти трубы могут иметь индивидуальные оголовки или клиновидные звенья. Косые трубы устраиваются под углом к оси дороги, отличным от 90° (рис. 4.7). Применение индивидуальных оголовок улучшает гидравлические характеристики, но усложняет конструкцию и удлиняет трубу. Трубы с клиновидными звеньями имеют простые оголовки, но меньшую водопропускную способность.

Косогорные трубы устраивают на пересечении дороги с малыми бурными водными потоками с продольным уклоном русла более 20%. Эти тру-

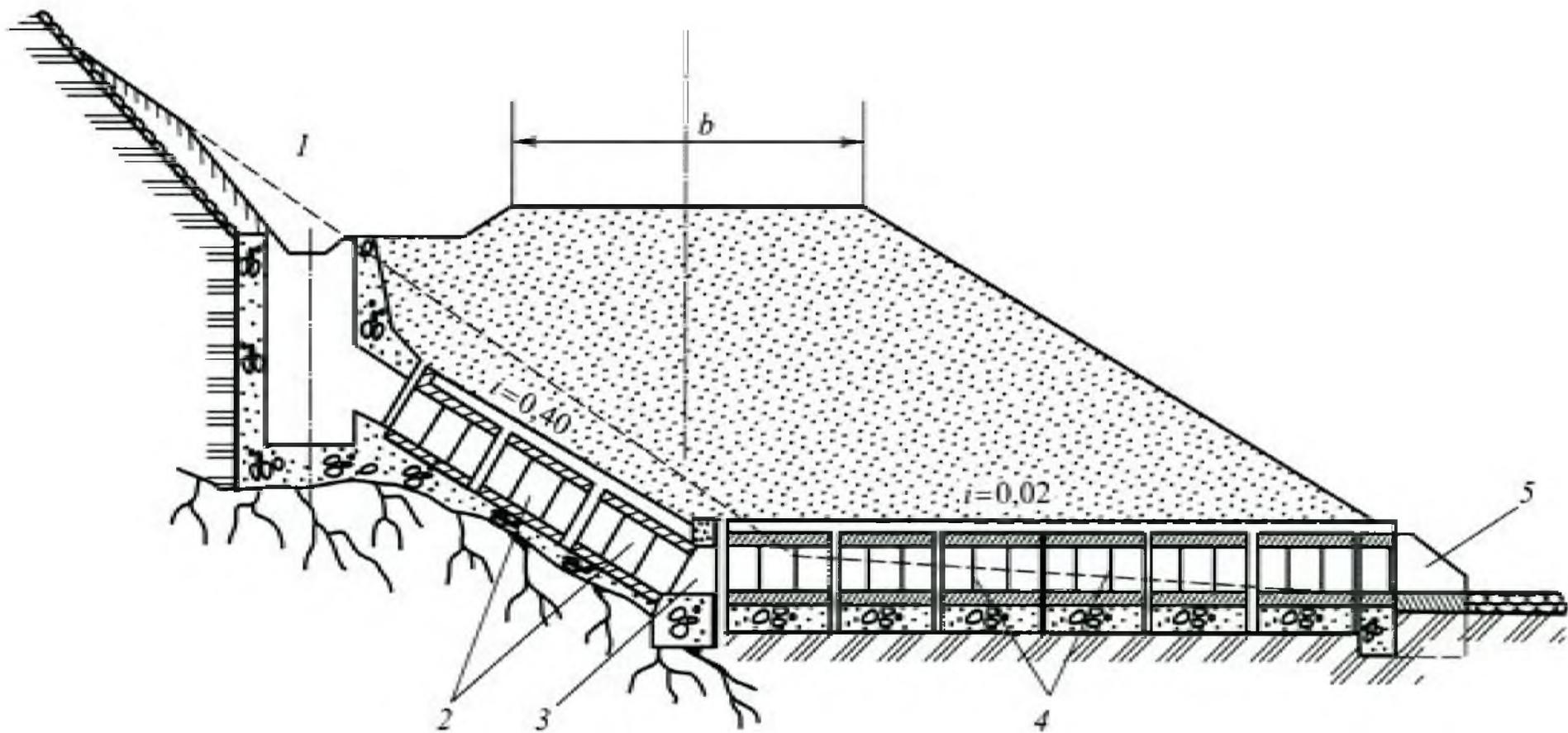


Рис. 4.8. Конструкция трубы на косогоре: 1 — водобойный колодец; 2 — наклонная часть трубы; 3 — бетонный упор; 4 — нормальный участок трубы; 5 — выходной оголовок

бы имеют следующие конструктивные части: быстроток с входным участком, переходное устройство от быстроточка к трубе, среднюю часть трубы, гаситель энергии водотока на выходе из трубы и отводное русло с укреплением. При больших уклонах русла трубы имеют на входе и выходе водобойные колодцы или шахты (рис. 4.8).

Быстроточки представляют собой сборные железобетонные или монолитные бетонные лотки с вертикальными или наклонными стенками и с шероховатым дном для уменьшения скорости течения воды. Переход от быстроточков к трубе осуществляется плавным уменьшением поперечного сечения потока с помощью прямолинейных или криволинейных вертикальных или наклонных стенок. Повышенная шероховатость труб создается за счет ступенек, порогов и ребер. Гасители энергии потока устраивают для уменьшения скорости течения воды на выходе из трубы и сокращения размеров укрепления отводящего русла. Гасители представляют собой раструб с вертикальными стенками из сборного железобетона или монолитного бетона.

Для железных и автомобильных дорог разработан типовой проект косогорных унифицированных сборных железобетонных, круглых и прямоугольных труб, быстроточков, водобойных колодцев и гасителей энергии потока для различных климатических, топографических и геологических условий.

Лотки применяют для пропуска небольших водотоков при малой высоте насыпи, когда невозможно устроить трубу. Массивные лотки (каменные или железобетонные) возводятся при высоте насыпи до 2 м и наибольшем расходе воды до $4,5 \text{ м}^3/\text{с}$. С входной и выходной стороны лотка устраивают крылья в виде оголовка portalного типа (рис. 4.9).

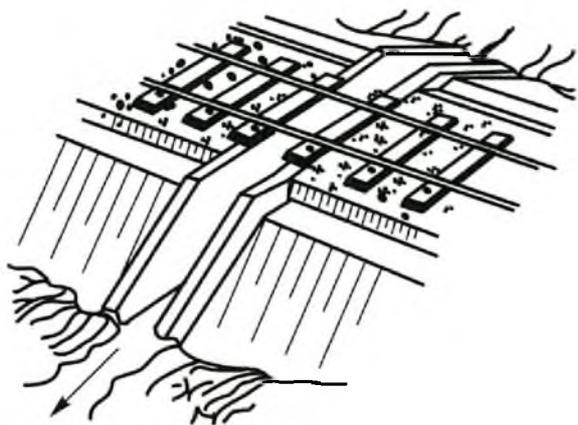


Рис. 4.9. Лоток в насыпи

Фильтрующие насыпи устраивают в виде каменной наброски для пропуска через нее небольших водотоков. При пропуске воды через фильтрующие насыпи с верхней стороны образуется пруд, высота горизонта которого определяется расчетом. Уровень воды, просачивающейся с верхней стороны, в теле каменной наброски постепенно снижается к нижней стороне. Конструкцию фильтрующей насыпи см. рис. 1.6.

4.3. Конструктивные особенности труб

До широкого применения железобетона трубы строились либо деревянными, либо каменными.

Деревянные трубы по форме поперечного сечения бывают прямоугольные, трапецеидальные, треугольные, иногда круглые. Они состоят из лежней, рам и обшивки. Лежни из бревен укладываются на спланированный грунт или глинистую подушку толщиной 0,5—0,75 м. Рамы изготавливаются из бревен или брусьев и устанавливаются на расстоянии 1—1,5 м друг от друга. Обшивка устраивается из пластин или толстых досок. Все элементы соединяются простейшими врубками с минимальным использованием металлических креплений. Поверху обшивки укладывается слой мятой глины толщиной 0,2—0,3 м (рис. 4.10). Круглые трубы состоят из кольцевых кружал, обшитых горбылем или досками. Оголовки труб представляют собой порталные или раструбные стенки из свай и обшивки. Деревянные трубы имеют незначительный срок службы, низкие гидравлические качества, а ремонт их и замена сопряжены со значительными трудностями, поэтому они в настоящее время практически не применяются.

Каменные трубы имеют овоидальную форму поперечного сечения или с вертикальными стенками и сводами (рис. 4.11). Отверстия шириной от 1 до 6 м. Бывают одно- и двухочковыми с водопропускной способностью до 130 м³/с. Своды труб принимаются параболического, эллиптического, коробового очертания. В зависимос-

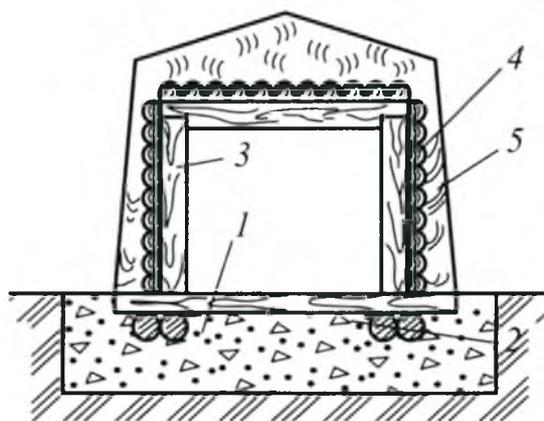


Рис. 4.10. Поперечный разрез деревянной трубы:

1 — подготовка из щебня или гравия с глиной; 2 — лежень; 3 — рама; 4 — обшивка; 5 — слой мятой глины

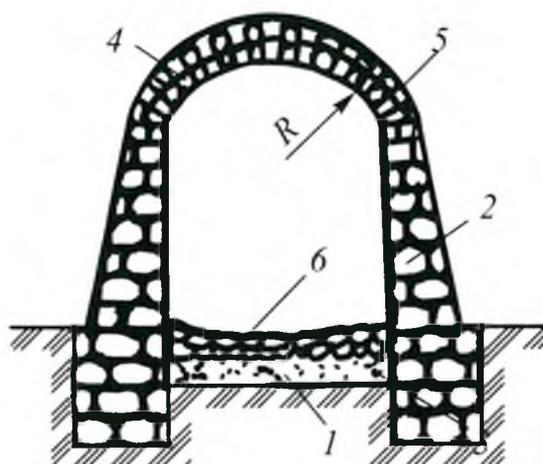


Рис. 4.11. Поперечный разрез каменной трубы с вертикальными стенками и сводом:

1 — подготовка из щебня или гравия с глиной; 2 — стена; 3 — фундамент; 4 — свод; 5 — гидроизоляция; 6 — лоток

ти от геологических и климатических условий своды опираются на сплошные или отдельные фундаменты или на вертикальные стены. Трубы состоят из секции длиной от 3 до 6 м, покрытых гидроизоляцией. Каменные трубы имеют порталные, раструбные, коридорные и воротниковые оголовки с нормальными или повышенными входными секциями. Видимые поверхности оголовков облицовываются тесаным камнем. Овоидальные трубы имеют суживающиеся кверху отверстия, что снижает их водопропускную способность. Кладка сводов требует труда высококвалифицированных каменщиков, поэтому работа по постройке овоидальных труб очень трудоемка и продолжительна. Трубы с вертикальными стенками имеют более пологие своды кругового очертания и неглубокий лоток, отделенный от стен деформационными швами. Эти трубы имеют большую водопропускную способность, простую кладку стен, меньший объем кладки сводов, что снижает трудоемкость и продолжительность строительства.

Каменные трубы являются надежными и долговечными сооружениями с малыми эксплуатационными расходами, но не удовлетворяющими современным требованиям индустриализации строительства. Они целесообразны в труднодоступных районах при наличии местного природного камня.

Сборные железобетонные и бетонные трубы. Сборные трубы состоят из звеньев, блоков фундаментов и элементов оголовков, которые изготавливаются на заводах или полигонах, доставляются на строительные площадки обычным транспортом и монтируются легкими мобильными кранами. Эти трубы соответствуют требованиям индустриального строительства, имеют сравнительно невысокую стоимость, незначительную трудоемкость и продолжительность строительства, обладают хорошими эксплуатационными качествами и большими сроками службы. Железобетонные звенья сборных труб по форме поперечного сечения бывают: круглые, цилиндрические, круглые звенья с плоским основанием, овоидальные звенья, прямоугольные звенья. Толщина стенок звеньев должна быть не менее 10 см, длина звена, как правило, равна 1 м. Круглые цилиндрические звенья имеют отверстия до 2 м (рис. 4.12).

Толщина и армирование звеньев принимается в зависимости от высоты насыпи, временной подвижной нагрузки и положения звена в трубе. Арматурный каркас круглых звеньев состоит из наружной и внутренней спиралей из арматурной стали диаметром 8—10 мм и проволочных стержней диаметром 6 мм, соединенных сваркой или вя-

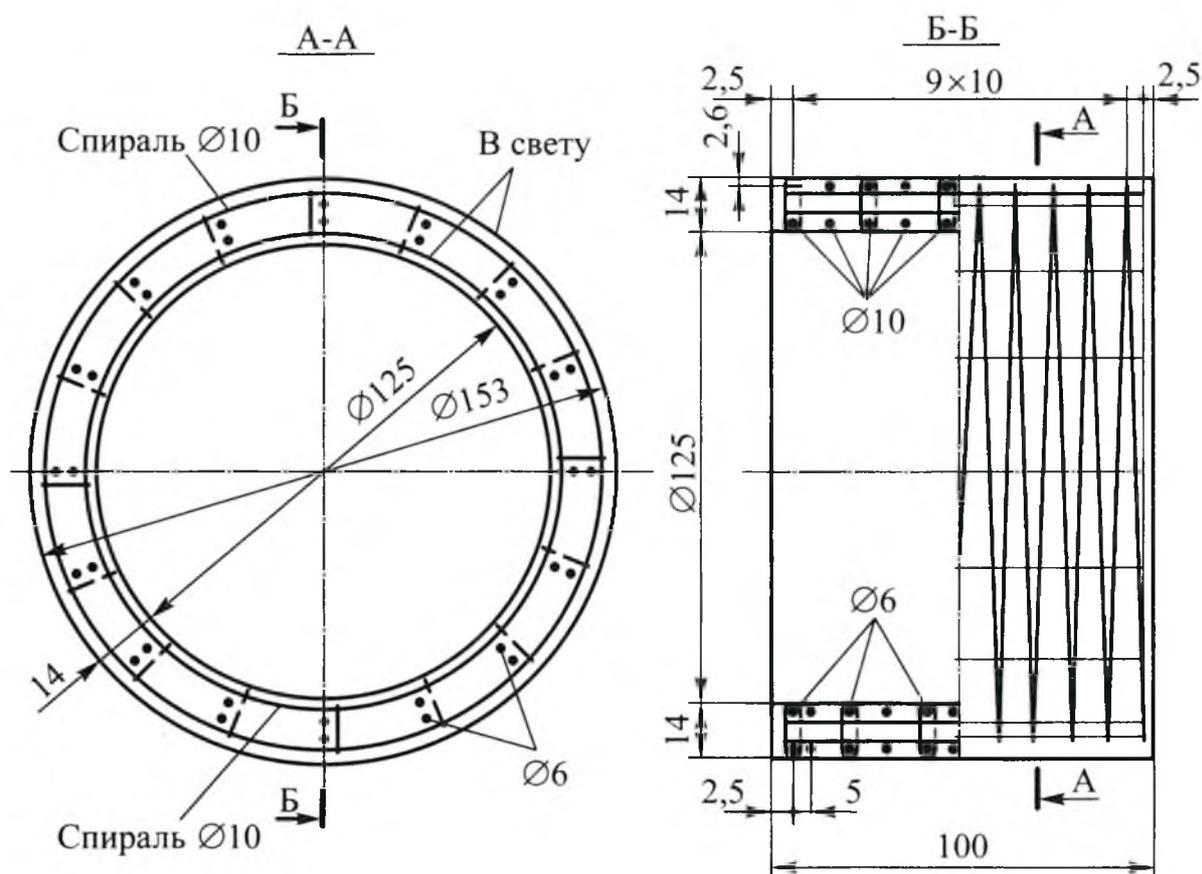


Рис. 4.12. Армирование круглого звена трубы диаметром 1,25 м для высоты насыпи железной дороги до 7 м

зальной проволокой. Наружная и внутренняя сетки соединяются между собой, и получается жесткий пространственный каркас. Круглые звенья с плоским основанием (рис. 4.13) занимают в трубе строго определенное положение и поэтому имеют более экономичное одиночное армирование — переменная толщина стенок сокращает расход арматуры почти в 2 раза. Кроме того, они не нуждаются в лекальных блоках, за счет чего снижается стоимость, трудоемкость и продолжительность строительства. Овоидальные звенья состоят из свода и плиты лотка, соединенных в замкнутую конструкцию с плоским основанием. Современные овоидальные звенья имеют одиночные арматурные каркасы, что сокращает расход стали на 50 % и бетона на 20 %.

Прямоугольные железобетонные звенья представляют собой замкнутые рамы с отверстиями 2 и 2,5 м и высотой 2 м, а также отверстиями 3 и 4 м высотой 2,5 м (рис. 4.14). Толщина стенок звеньев составляет 13—30 см, верхней двускатной плиты — 17—40 см (в зависимости от отверстия трубы и высоты насыпи). Арматурный пространственный кар-

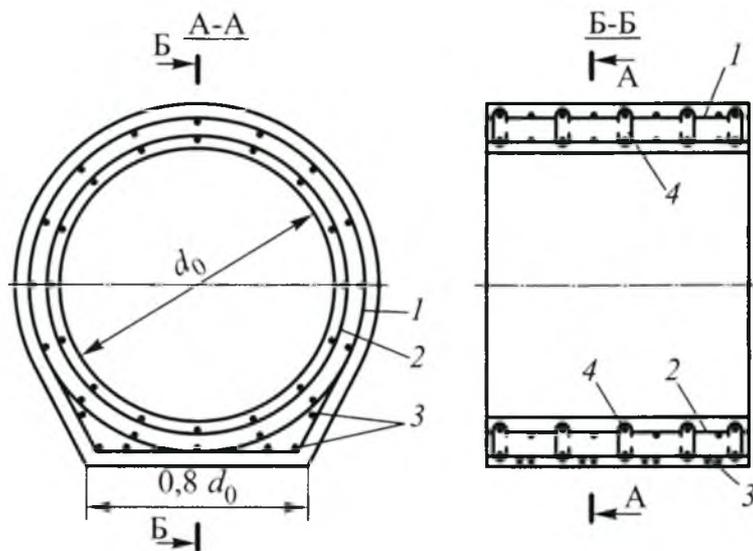


Рис. 4.13. Армирование звена с плоским основанием:
 1 — спираль наружная; 2 — спираль внутренняя; 3 — сетка армирования плоского основания; 4 — хомут

кас прямоугольных звеньев состоит из наружной и внутренней арматурных сеток, соединенных между собой, а в углах дополнительно устанавливаются наклонные стержни.

Из круглых и овоидальных звеньев собираются одно-, двух- и трехочковые секции длиной 2—3 м (рис. 4.15). Пространство между секциями в трубах с фундаментами заполняется толстым бетоном, а в бесфундаментных — дренирующим грунтом. Верхней поверхности заполнения придается двускатная форма с уклоном не менее 0,03. Между секциями устраиваются деформационные швы шириной не менее 3 см. В обычных климатических условиях при пластичных глинистых и мелких песчаных средней плотности грунтах основания применяют сплошные фундаменты из монолитного бетона или бетонных блоков. При твердых и полутвердых глинистых и песчаных средней плотности грунтах основания звенья диаметром 1,5 м укладывают на железобетонные лекальные блоки или плиты, на гравийно-песчаные или

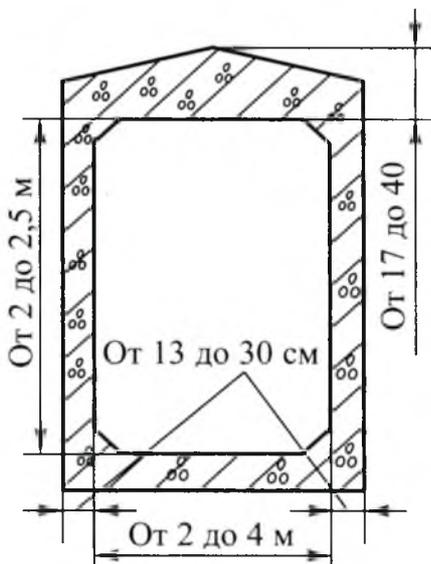


Рис. 4.14. Конструкция прямоугольного звена железобетонной трубы

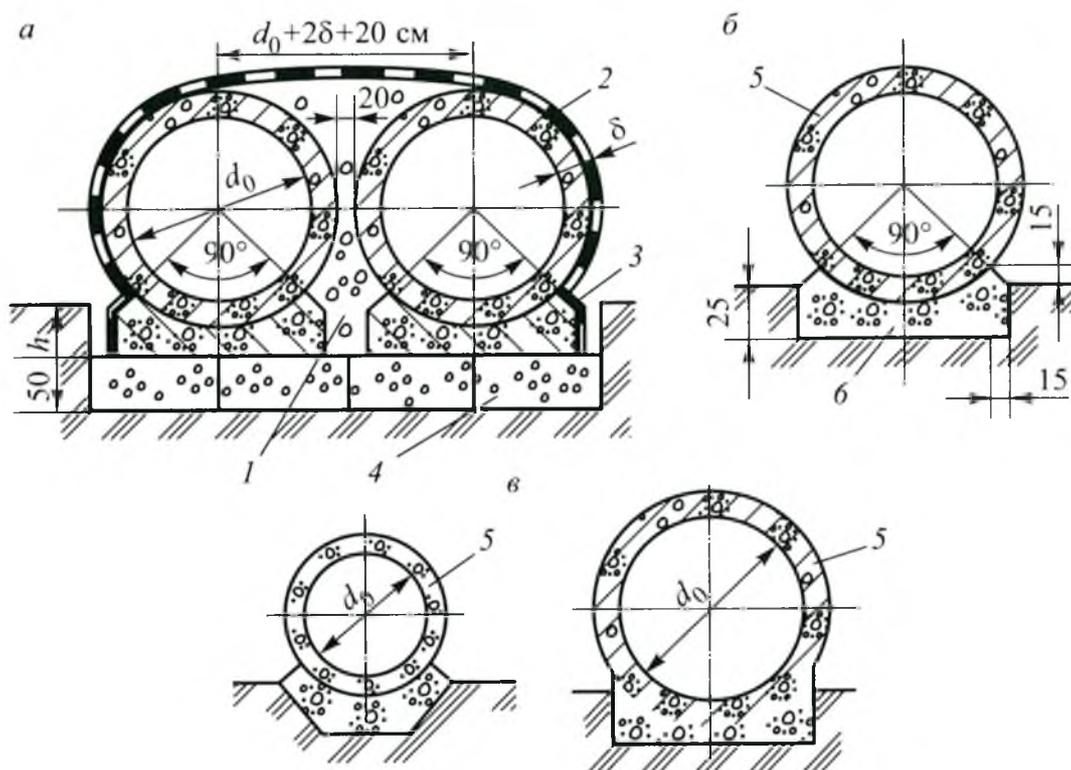


Рис. 4.15. Типы фундаментов под круглые трубы:

а — фундамент из бетонных блоков; *б* — бесфундаментные трубы на песчано-гравийной подушке; *в* — бесфундаментные трубы с плоской пятой; *1* — монолитный бетон; *2* — оклеечная гидроизоляция; *3* — лекальный блок; *4* — нижние блоки фундамента; *5* — обмазочная изоляция; *6* — гравийно-песчаная подушка

глинощебеночные подушки толщиной не менее 0,4 м. При плотных песчаных, крупнообломочных и скальных грунтах возможно сооружение труб на профилированном уплотненном грунтовом ложе. Трубы без фундаментов не применяют на железных дорогах. Фундаменты средних секций закладывают на глубину 0,5—1,5 м независимо от глубины промерзания грунтов основания; глубина заложения фундаментов крайних секций и оголовков при скальных, крупнообломочных, гравийных и крупнопесчаных грунтах принимается независимо от глубины промерзания, а при всех других грунтах — на 0,25 м ниже глубины промерзания. Типовые сборные железобетонные унифицированные трубы применяют при высоте насыпи до 20 м для пропуска периодических и постоянных водотоков, но при отсутствии наледей, так как при очистке отверстий железобетонных труб от льда возможно повреждение (скол) защитного слоя бетона, быстрая коррозия арматуры и разрушение трубы.

Конструкция бетонных труб (рис. 4.16). Бетонные трубы имеют прямоугольные отверстия шириной 1,5; 2 и 3 м при высоте 2 м и шириной 2—6 м (через 1 м) при высоте 3 м. Они могут быть одно-, двух и трехочковыми, водопрпускная способность их достигает $150 \text{ м}^3/\text{с}$. Средняя часть бетонной трубы состоит из секций длиной 3—4 м, которые могут быть монолитными или сборными. Сборные секции состоят из железобетонных плит перекрытия отверстия, бетонных блоков стен, насадок, лотка и фундамента. Железобетонные плиты шириной 1 м не только перекрывают отверстие трубы, но и служат распорками для стенок. Бетонные блоки стен имеют массивную фигурную конструкцию длиной 1 м и высотой 1,8 и 2,6 м. Поверху стеновые блоки объединяются железобетонными насадками (ригелями) длиной 3—4 м, на которые укладывают плиты покрытия. Трубы отверстием 1,5; 2 и 3 м имеют сплошные фундаменты, а остальные — отдельные на естественном основании, монолитные или сборные, либо свайные фундаменты. Трубы имеют раструбные оголовки. Лотки бетонируются на песчаной подготовке. Входные звенья могут быть нормальные или повышенные. Бетонные трубы имеют большое количество блоков разной формы и размеров, что усложняет их изготовление, увеличивает объем установки блоков на цементном

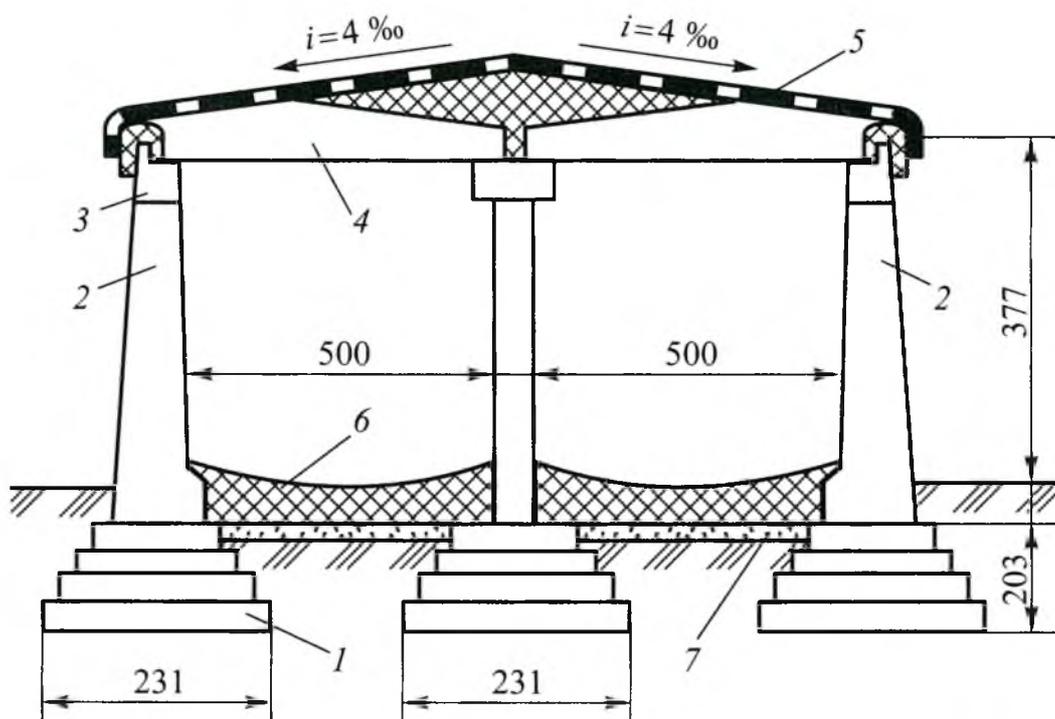


Рис. 4.16. Конструкция бетонной трубы:

1 — фундамент; 2 — бетонные стеновые блоки; 3 — насадка; 4 — железобетонная плита; 5 — гидроизоляция; 6 — лоток; 7 — песчано-гравийная подготовка

растворе, гидроизоляционных и других работ, требует значительных трудовых затрат и времени на строительство. Однако эти трубы имеют большой срок службы и малые эксплуатационные расходы. Бетонные трубы применяют при высоте насыпи до 20 м для пропусков постоянных и периодических водотоков на всей территории страны.

Гидроизоляция труб. Для защиты бетона и арматуры от коррозии наружные поверхности и стыки труб покрываются гидроизоляцией. Гидроизоляция может быть двух видов: оклеечная и обмазочная (рис. 4.17).

Вид гидроизоляции выбирается в зависимости от характера защищаемой поверхности. Вертикальные поверхности, соприкасающиеся с грунтом, покрываются обмазочной битумной изоляцией в два слоя по битумной грунтовке. Наружная поверхность труб покрывается двух- или трехслойной оклеечной изоляцией на битумных мастиках. Материалами для устройства гидроизоляции искусственных сооружений служат битумный лак, мастики, бетантит, гидроизол и др. Обмазочная гидроизоляция (неармированная) состоит из двух слоев, толщиной каждый 1,5—3 мм,

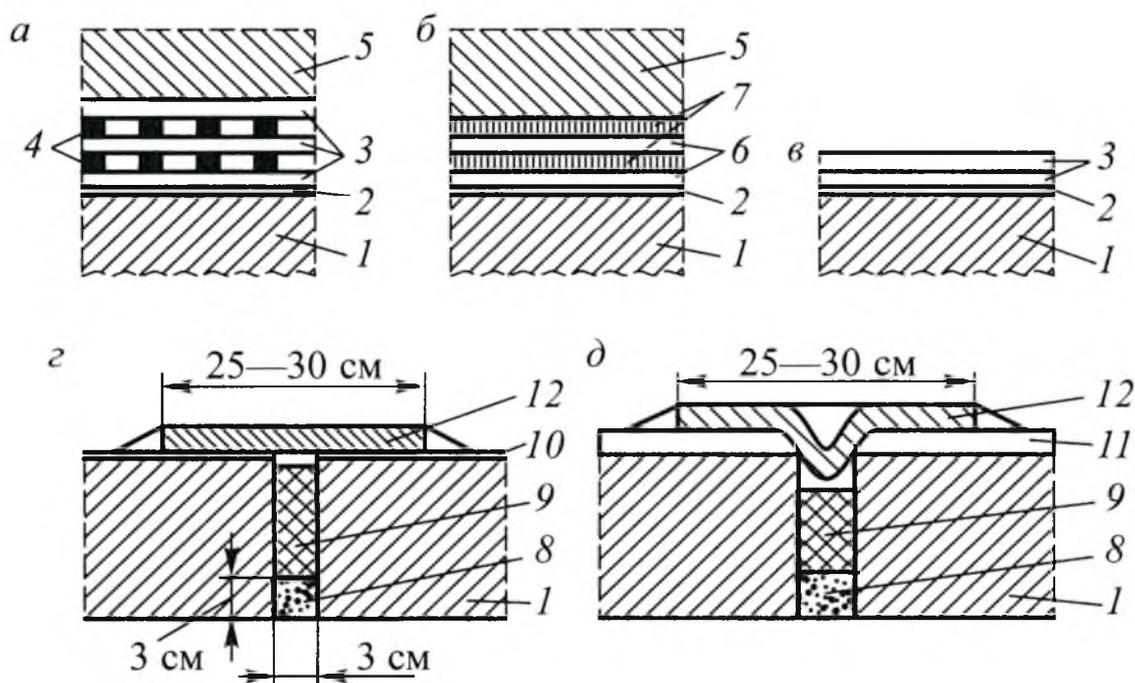


Рис. 4.17. Гидроизоляция поверхностей и стыков труб:

а — битумная мастичная — оклеечная; *б* — изольная рулонная — оклеечная; *в* — битумная мастичная — обмазочная; *г* — гидроизоляция стыков звеньев; *д* — гидроизоляция стыков звеньев; 1 — звено трубы; 2 — грунтовка; 3 — мастика битумная; 4 — армирующий материал; 5 — защитный слой; 6 — мастика изольная; 7 — изол рулонный; 8 — цементно-песчаный раствор; 9 — пакля, пропитанная битумом; 10 — обмазочная изоляция; 11 — полоса оклеечной изоляции; 12 — элемент гидроизоляции деформационного шва

горячей или холодной битумной мастики по слою битумной грунтовки. Оклеечная гидроизоляция (армированная) состоит из двух слоев: армирующего материала (гидроизола, бетонтита и др.) между двумя слоями битумной мастики по слою грунтовки. Битумная грунтовка — битумный лак, который получен растворением расплавленного битума в бензине, нигроле, керосине и других растворителях в пропорции 1:3—1:2 (по массе). Битумные мастики включают в себя, кроме битума, машинное масло и асбест. Обмазочной гидроизоляцией покрывают оголовки, элементы сборных и сборно-монолитных фундаментов, боковые поверхности прямоугольных труб. Оклеечной гидроизоляцией защищают звенья круглых и ригели прямоугольных труб.

Деформационные швы между секциями труб перекрывают полосой оклеечной гидроизоляции с компенсатором, расположенным внутри шва.

При сооружении прямоугольных труб возможно применение звеньев с заводской битумно-стеклопластиковой изоляцией. В этом случае на строительной площадке гидроизоляция наносится только на стыке звеньев. Поверх изоляции укладывается цементно-песчаный раствор М150, а боковые поверхности прямоугольных труб закрывают асбоцементными плитами защиты.

Материал для оклеечной гидроизоляции (бетонтит, гидроизол) поставляется в рулонах, завернутых в упаковочную бумагу, и представляет собой битуминированную антисептированную ткань. Кроме этих материалов, для гидроизоляции применяется полихлорвиниловый пластикат и другие полимерные материалы.

4.4. Организация строительной площадки по сооружению сборной железобетонной трубы

К работам по строительству малых искусственных сооружений разрешается приступать лишь при наличии проекта производства работ (ППР). В его состав должны входить календарные графики выполнения подготовительных и основных работ, движения рабочей силы, поступления материалов и конструкций, работы основных строительных машин. На план строительной площадки должны быть нанесены: строящееся сооружение, автопроезды, места складирования конструкций и других механизмов и устройств (рис. 4.18). Для производства работ подбирается комплект строительных машин, обеспечивающий комплексную механизацию всех трудоемких процессов. Ведущей машиной при мон-

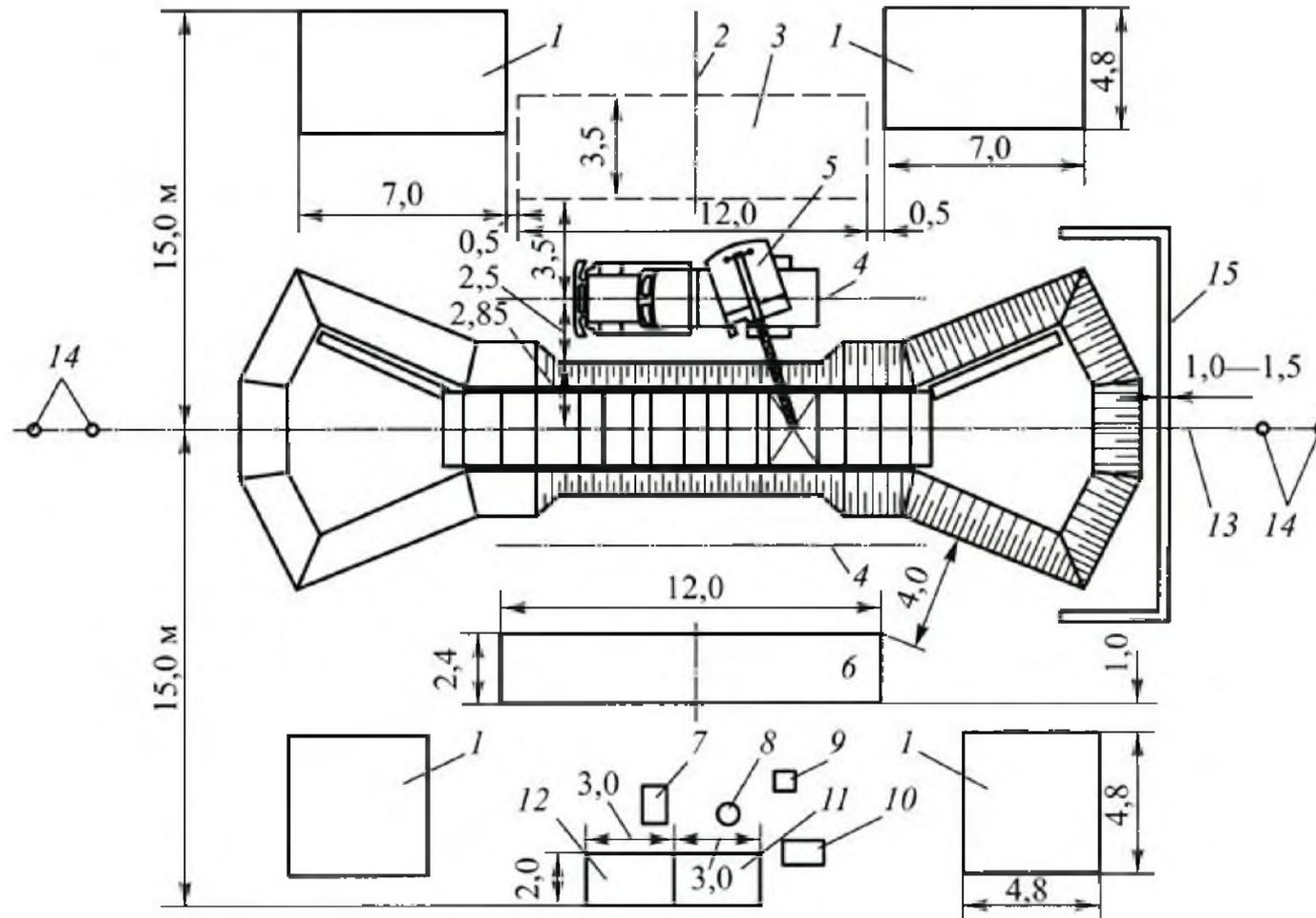


Рис. 4.18. План строительной площадки сборной железобетонной трубы:

1 — склад блоков оголовков; 2 — ось пути; 3 — склад блоков фундамента; 4 — путь движения крана; 5 — кран; 6 — склад звеньев тела трубы; 7 — контейнер с цементом; 8 — бетономешалка; 9 — бак для воды; 10 — электростанция; 11 — склад щебня; 12 — склад песка; 13 — продольная ось трубы; 14 — выносные столбы; 15 — обноска

таже трубы является кран. Потребная грузоподъемность крана определяется весом наиболее тяжелой конструкции или детали. Монтаж сборной трубы начинается вслед за окончанием рытья котлована и устройства по его подошве щебеночной или гравийной подготовки. Первыми укладывают блоки фундамента под оголовочные звенья и крылья, а затем блоки фундамента тела трубы. Фундаментные блоки устанавливают секциями. Оголовки монтируют в следующем порядке: вначале устанавливают порталные стенки и откосные крылья оголовков, которые раскрепляют инвентарными подкосами. После этого укладывают второй слой фундаментных блоков под оголовочное звено, устанавливают коническое звено и крайнее замыкающее звено трубы у выходного оголовка. Швы между звеньями должны быть не более 10 мм, а деформационные швы между секциями — 30 мм. В состав работ по постройке трубы входят: подготовительные работы, рытье котлована под фундамент экскаватором и частично вручную, установка фундаментных блоков, установка звеньев, заполнения пазух бетоном, монтаж оголовков, тела трубы, засыпка пазух котлована грунтом, устройство изоляции трубы, укрепление русла водотока у входного и выходного оголовков, засыпка трубы на высоту 0,5 м, засыпка трубы до проектного профиля, укрепление откосов насыпи.

4.5. Металлические трубы

Первые металлические трубы были чугунными. Они состояли из круглых звеньев отверстием до 2,1 м, длиной 3,2 м и толщиной стенок до 30 мм. Чугунные трубы имели малую трудоемкость и хорошие эксплуатационные качества, но требовали большого расхода металла. В конце XIX в. начали применять более экономичные трубы из тонколистовой гофрированной (волнистой) стали с повышенными антикоррозийными свойствами (рис. 4.19). Отверстия гофрированных труб имеют круглую, эллиптическую или арочную форму. Отверстия круглых гофрированных труб достигают 9 м, а эллиптических — 12 м. Гофрированные трубы, как правило, не имеют оголовков и выступают из насыпи с вертикальным (несрезанным) или наклоненным (срезанным) торцом. Эти трубы бывают многоочковыми и многоярусными. При многоярусном расположении верхние отверстия пропускают только воды весеннего паводка, большую часть времени они остаются сухими. Наибольшее отверстие имеет построенная в Канаде труба, состоящая из пяти эллипти-

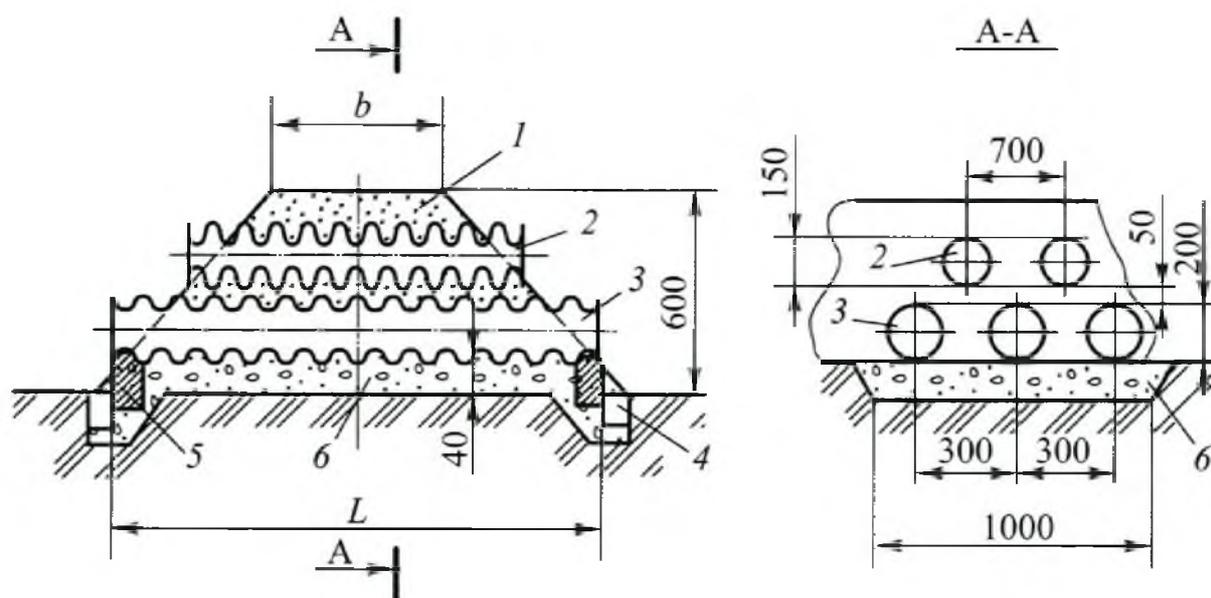


Рис. 4.19. Двухъярусная металлическая гофрированная труба отверстием $3 \times 2 + 2 \times 1,5$ м:

1 — грунт насыпи; 2 — трубы верхнего яруса; 3 — трубы нижнего яруса; 4 — блок экрана; 5 — лекальный блок; 6 — гравийно-песчаная подушка

ческих отверстий по 10,8 м каждая. Общее отверстие ее составляет 54 м. Наибольшее число очков имеет двухъярусная труба, построенная там же и состоящая из 14 круглых отверстий по 2,6 м в нижнем ярусе и 7 круглых отверстий по 1,5 м в верхнем ярусе; всего 21 отверстие.

Стальные трубы выполняются из гнутых гофрированных листов толщиной 1,5—7 мм с кольцевыми или спиральными гофрами. Элементы труб имеют небольшие габаритные размеры и малый вес, могут перевозиться любым транспортом, включая воздушный. Листы соединяются внахлестку, бандажами или фланцами, заклепками, обычными или высокопрочными болтами с фигурными головками, а также сваркой или пайкой. Гофрированные трубы могут значительно деформироваться без повреждений, поэтому они укладываются без фундаментов на грунтовые подушки. При повышенной агрессивности среды поверхности труб дополнительно обмазывают битумом, эпоксидной смолой или полимерной эмалью. Лоток трубы покрывают бетоном или асфальтобетоном, толщина покрытия лотка должна быть на 2 см выше гофр. Трубы засыпают песчаным, супесчаным или суглинистым грунтом послойно равномерно с обеих сторон трубы. Грунт тщательно уплотняют для обеспечения надежной совместной работы гибкой стальной трубы с окружающим грунтом. Благодаря малой массе, транспортабельности элементов, быстроте

сборки и высокой эксплуатационной надежности стальные гофрированные трубы соответствуют современным требованиям индустриального строительства.

Типовые гофрированные трубы имеют отверстия 1—3 м. Основным элементом типовых труб является гофрированный лист размером 1760×910 мм, толщиной 1,5—2,5 мм с гофрами 130×32,5 мм, изогнутый по заданному радиусу и с отверстиями для болтов. Продольные и поперечные стыки элементов выполняются внахлестку болтами диаметром 16 мм с плосковыпуклыми и плосковогнутыми квадратными шайбами, обеспечивающими плотное прилегание шайб к поверхности гребней и впадин волн стыкуемых гофрированных листов. Типовые трубы применяют при высоте насыпи до 20 м во всех климатических районах страны и на любых водотоках. Применение гофрированных стальных труб по сравнению с железобетонными снижает стоимость строительства в 1,5—2 раза, массу привозимых для строительства материалов в 30—40 раз, транспортные расходы более чем в 8 раз, трудоемкость работ в 2—4 раза, но увеличивает расход стали на 10—15 %. Разработан проект опытных гофрированных труб отверстием 5—7,5 м круглого и эллиптического сечений. Техничко-экономические показатели стальных труб больших отверстий лучше, чем железобетонных труб, эстакад и путепроводов.

Глава 5 КАМЕННЫЕ И БЕТОННЫЕ МОСТЫ

5.1. Особенности каменных и бетонных мостов

Каменные мосты наиболее древние, но так как они долговечны, то независимо от времени их постройки продолжают эксплуатироваться. Каменные мосты сооружают из естественного камня или из искусственного (кирпич, бетонные блоки). Для каменных мостов характерна сводчатая конструкция (рис. 5.1, 5.2), так как в таких конструкциях материал работает на сжатие. Основным элементом каменного моста является свод, опирающийся на опоры. Над сводом устраивается надсводное строение, которое может быть сплошным, выполненным в виде каменной (бетонной)

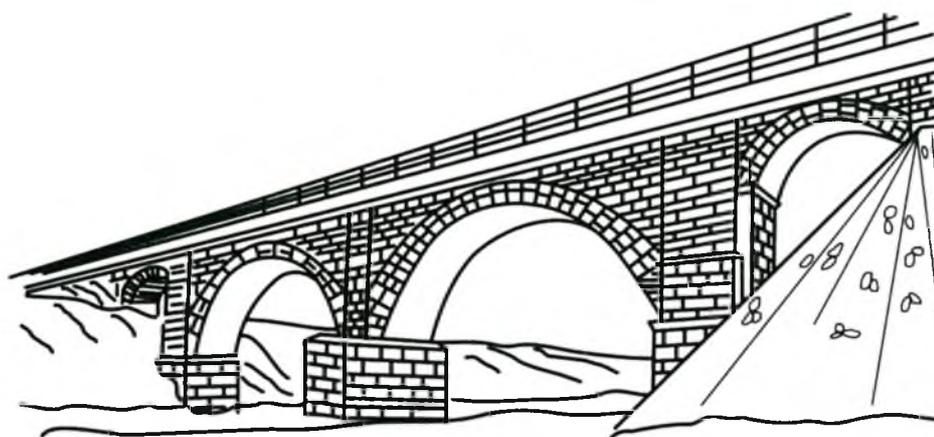


Рис. 5.1. Общий вид каменного моста



Рис. 5.2. Общий вид бетонного моста со сквозным надводным строением

кладки (забутки) или засыпки из щебня (гравия), или сквозным, в виде конструкции из целого ряда небольших сводов, опирающихся на поперечные стенки. В надсводных строениях с засыпкой устраивают продольные стенки, ограничивающие засыпку с двух сторон (рис. 5.3). Эти стенки называются щековыми. Щековые стенки имеют наименьшую высоту в сечении по оси свода и наибольшую высоту в сечении, где свод опирается на опору. Сечение свода в середине пролета называется замком или ключом; сечения, которыми свод опирается на опоры — пятами.

Расстояние между центрами пят называется расчетным пролетом свода (l), а расстояние между гранями опор — пролетом в свету; расстояние по вертикали между центрами сечений в замке и в пяте называется стрелой свода (f). Отношение стрелы свода к пролету называется подъемом свода.

Свод может быть выполнен по круговой, параболической, эллиптической и другим кривым.

Своды в каменных мостах могут быть бесшарнирными, двухшарнирными (шарниры в пятах) и трехшарнирными (шарниры в пятах и замке) (рис. 5.4). В большинстве каменных и бетонных мостов своды бесшарнирные, так как они наиболее просты по конструкции.

Чем больше отношение стрелы свода к пролету, тем меньше величина распора при тех же нагрузках (распор — горизонтальная составляющая опорной реакции в пяте свода), что позволяет уменьшить размеры опор. Наименьший допустимый подъем каменных сводов составляет $1/12—1/15$. Своды, имеющие отношение $f/l > 1/4$, называют подъемистыми сводами, а имеющие отношение $f/l < 1/4$ — пологими. При круговом

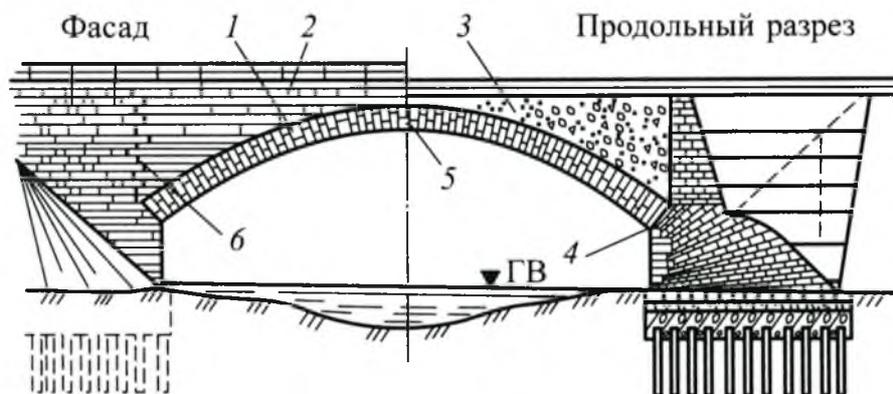


Рис. 5.3. Конструктивные части каменного моста:

- 1 — свод; 2 — щековые стены; 3 — заполнение пазух; 4 — пята свода;
5 — замок свода; 6 — деформационный шов

очертании свода и подъеме 0,5 свод называется полуциркульным. Наиболее распространенным является отношение от 1/4 до 1/7. В этом случае нижнее очертание свода получается проведением дуги окружности из одного центра, взятого на уровне пят в середине пролета. В мостах со сплошным надсводным строением щековые стенки служат для ограждения заполнения пазух и балластного слоя, воспринимая горизонтальный распор от засыпки (рис. 5.5). Толщина щековых стенок принимается от 1 до 1,2 м. При пролетах более 25 м вес забутки составляет значительную часть нагрузки на свод и на опоры, поэтому для облегчения конструкции надсводного строения в нем устраиваются проемы (рис. 5.6, 5.7).

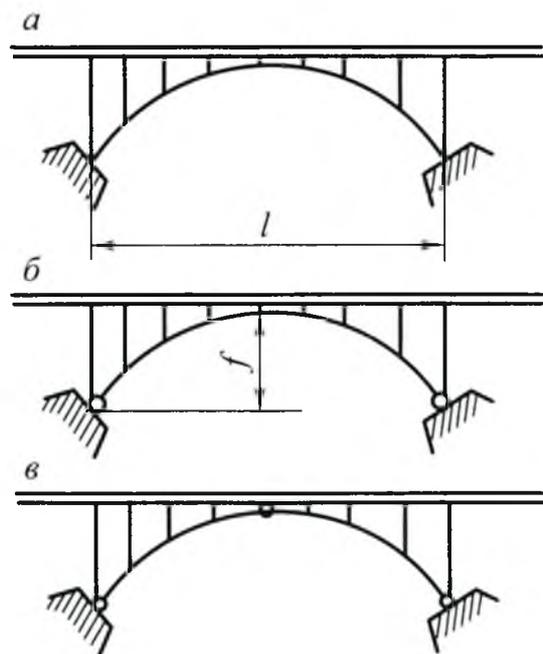


Рис. 5.4. Схемы арок:
а — бесшарнирная; *б* — двухшарнирная; *в* — трехшарнирная

В таких мостах пролетное строение состоит из поперечных стен и сводиков между ними. По этим сводикам между щековыми стенками

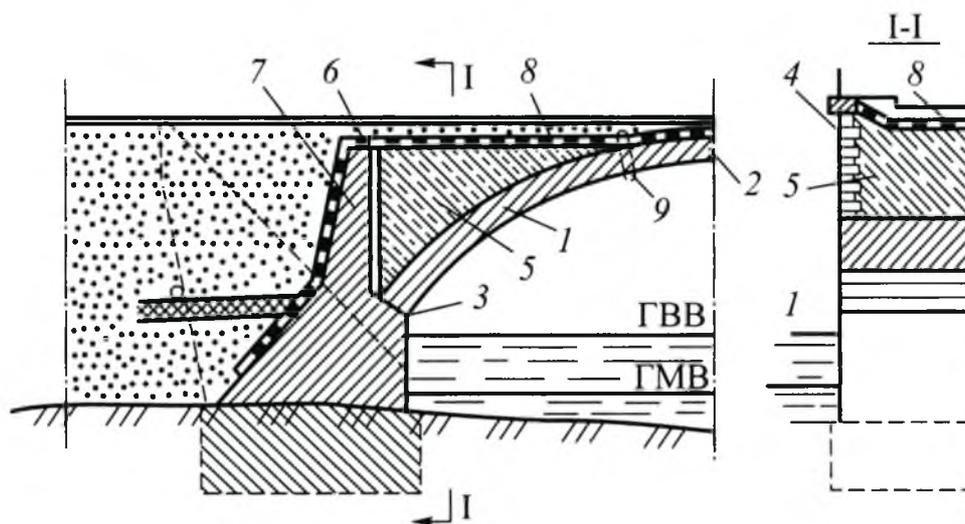


Рис. 5.5. Основные конструктивные элементы моста со сплошным надсводным строением:

- 1 — свод; 2 — замок; 3 — пята; 4 — щековая стенка; 5 — забутка;
 6 — деформационный шов; 7 — разделительная стенка; 8 — гидроизоляция;
 9 — водоотводная трубка

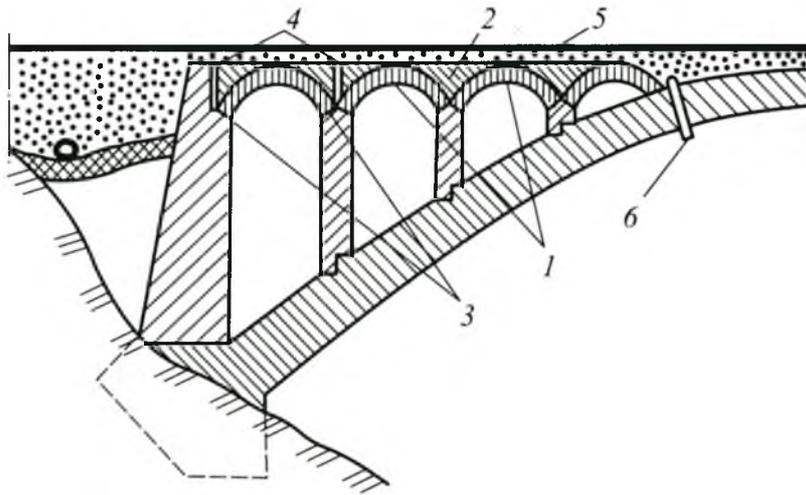


Рис. 5.6. Конструкция сквозного пролетного строения:

1 — малые своды; 2 — забутка; 3 — шарниры; 4 — швы; 5 — гидроизоляция;
6 — водоотводная трубка

укладывают забутку и путь на балласте. В поперечных стенках для удобства осмотра моста устраивают проходы.

Деформационные швы (температурные) в надсводном строении устраивают для обеспечения свободных перемещений свода и предохранения кладки щековых стенок от разрушения. Деформационные швы устраивают в каменных мостах при пролетах более 15 м, а в бетонных —

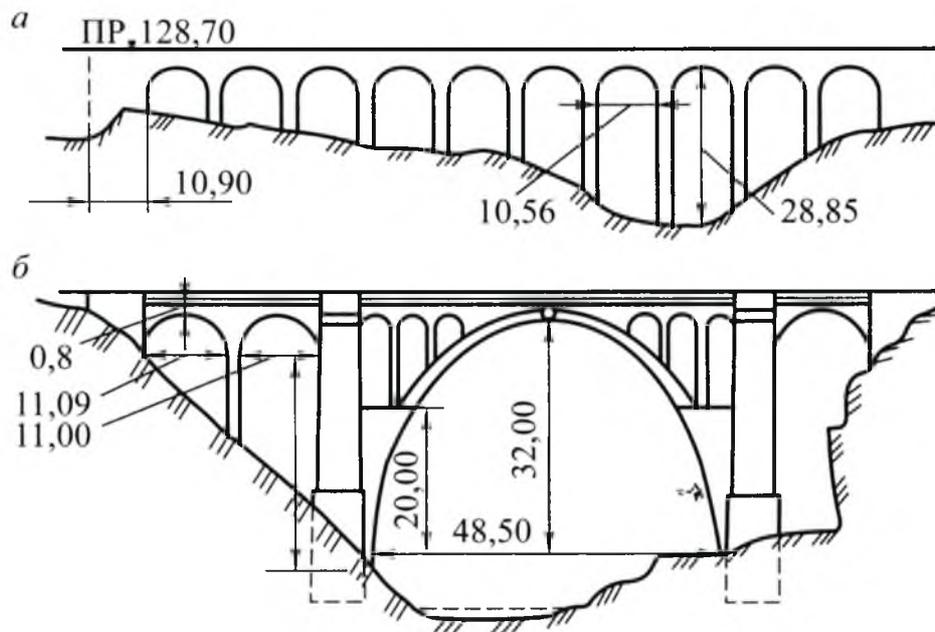


Рис. 5.7. Каменные мосты из аркад:

а — со сводами малых пролетов; б — с одним сводом большого пролета

более 10 м. Швы располагают у пят бесшарнирных сводов. Толщина швов в щековых стенках принимается от 2 до 5 см.

Шарниры. При деформациях от изменения температуры пятовые сечения свода стремятся повернуться вокруг горизонтальной оси. Для обеспечения этого поворота в пятах устраивают шарниры (двухшарнирный свод) (рис. 5.8). В бесшарнирном своде такого поворота сечения не происходит, в результате возникают дополнительные напряжения в кладке. Шарнирные своды, более сложные по конструкции, имеют существенные преимущества по сравнению с бесшарнирными: двухшарнирные и трехшарнирные своды нечувствительны к неравномерным осадкам опор, но шарниры усложняют конструкцию и уменьшают вертикальную жесткость моста. Трехшарнирные своды выгоднее применять в районах с резким колебанием температур и при слабых грунтах основания. В каменных мостах чаще всего применяют шарниры из свинцовых прокладок толщиной 8—10 мм или металлические из стального литья в виде двух балансиров с цилиндрическим вкладышем. По ширине моста шарниры в пятах и в замке свода располагают вплотную друг к другу так, чтобы образовать одну непрерывную конструкцию. Шарниры могут быть постоянными и монтажными, которые после раскружаливания заделываются в кладке свода. Каменные мосты имеют целый ряд достоинств:

- хороший внешний вид;
- долговечность;
- малые эксплуатационные работы;
- путь укладывается на балласте;
- возможность строительства из местного естественного камня;
- на каменных мостах незначительно сказывается возрастание временной нагрузки;
- каменные мосты малочувствительны к динамическим воздействиям временной нагрузки (из-за большого собственного веса и монолитности конструкции).

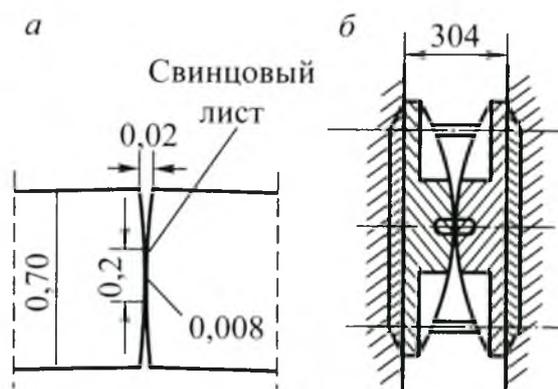


Рис. 5.8. Конструкция шарниров: *а* — со свинцовой прокладкой; *б* — металлический из стального литья с цилиндрическим вкладышем

К недостаткам каменных мостов относятся:

- чувствительность к деформациям опор;
- большая трудоемкость работ в связи с необходимостью устройства специальных подмостей и кружал, способных поддерживать тяжелый каменный свод во время его кладки;
- необходимость прочных грунтов.

Для устройства сводов используют следующие виды кладки: из штучных камней получистой тески, из грубоколотых в правильную форму камней, из отборного постелистого бута вприкол.

Для предотвращения проникновения в кладку свода атмосферной воды дно балластного корыта должно иметь продольный уклон 0,02 и поперечный уклон от 0,03 до 0,05 и гидроизоляцию. По наклонным плоскостям балластного корыта вода отводится к водоотводным трубкам, вделанным в кладку свода. Водоотводные трубки устанавливаются в замке свода и в четвертях пролетов.

Бетонные мосты — разновидность каменных мостов, они могут быть монолитными и блочными. По своей конструкции и статистическим свойствам они не отличаются от каменных, но имеют и свои особенности. Сооружение монолитных бетонных мостов менее трудоемко и лучше поддается механизации, но в монолитных мостах при твердении бетона происходит его усадка, что может вызвать трещины в кладке. В бетонных сводах, в отличие от каменных, возникают более высокие дополнительные напряжения от колебаний температуры. Сооружение мостов из сборных бетонных блоков уменьшает сроки строительства и позволяет избежать трещин от усадки бетона. Каменные и бетонные мосты в настоящее время практически не сооружаются.

5.2. Сооружение каменных и бетонных мостов

Работы по сооружению каменных и бетонных мостов включают в себя возведение опор и сводов. Возведение сводов является наиболее сложной работой, требующей устройства кружал и подмостей.

Своды каменных и бетонных мостов возводятся на временных деревянных или металлических конструкциях — кружалах (рис. 5.9), поддерживающих кладку сводов до их замыкания и последующего раскружаливания. Кружала передают нагрузку от веса свода на подмости, а последние на грунт. Конструкции кружал разнообразны: стоечные, подкосные, ригельно-подкосные, веерные, арочные. Кладка свода произво-

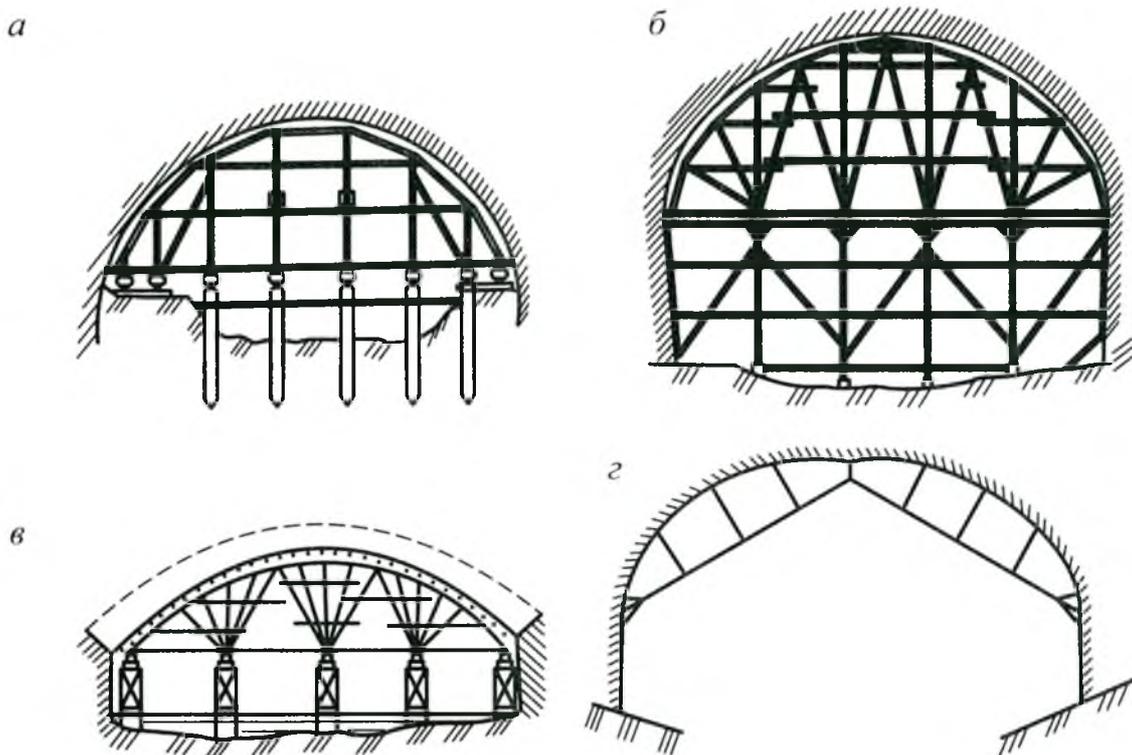


Рис. 5.9. Виды кружал:

a — стоечные; *б* — ригельно-подкосные; *в* — веерные; *z* — арочные

дится на сплошном дощатом настиле, который поддерживается поперечинами, уложенными на косяки кружал. Верхняя часть кружал соответствует очертанию свода и состоит из настила, обрешетки и косяков. Сплошной настил кружал является опалубкой нижней поверхности свода и выполняется из досок. Обрешетка, поддерживающая доски настила, делается из брусьев или из бревен, отесанных на два канта. Кружала устраивают из пиленного леса, а подмости — из круглого леса (бревен). Основанием подмостей являются лежни или сваи. Для кладки сводов, кроме деревянных кружал, применяют металлические, инвентарные. Кладка сводов из естественных камней или бетонных блоков выполняется с радиальными швами, перпендикулярными внутреннему очертанию свода, на всю толщину. Во избежание появления трещин и деформаций кружал кладка сводов малых пролетов (до 10 м) ведется от обоих пят к замку на всю толщину и ширину свода. Кладка сводов больших пролетов производится секциями. Освобождение свода от кружал и включение его в работу ведется плавно при помощи соответствующих приспособлений, устанавливаемых между подмостями и кружалами во время их возведения. Простейшими приспособлениями для раскружаливания сводов малых пролетов служат клинья. Более равномерное опускание

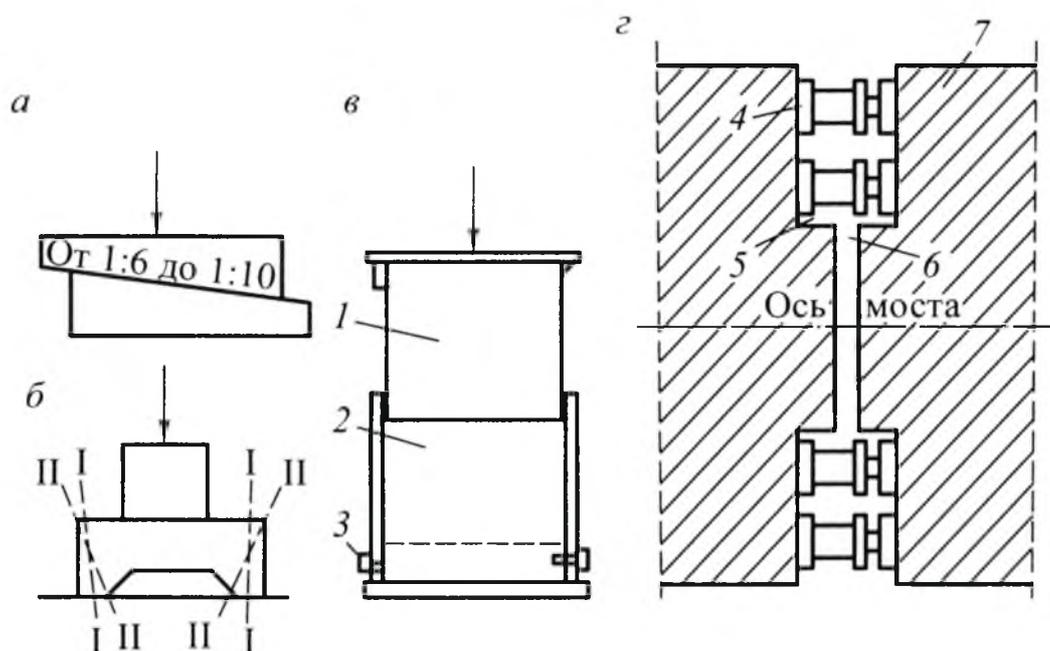


Рис. 5.10. Приспособления для раскружаливания:

а — клин; *б* — колодка; *в* — песочница; *г* — схема установки гидравлических домкратов; I-I и II-II — последовательность пропила; 1 — поршень; 2 — цилиндр; 3 — выпуск песка; 4 — домкрат; 5 — ниша; 6 — пустой шов; 7 — кладка повышенной прочности

кружал обеспечивается использованием колодок, еще более плавное раскружаливание достигается с использованием песочницы (рис. 5.10). Песочница состоит из металлического цилиндра, наполненного сухим и чистым песком, и деревянного или бетонного поршня. Опускание кружал производится выпуском песка через 4—5 отверстий диаметром 20—35 мм, расположенных в нижней части цилиндра. Раскружаливание ведется поэтапно: 4—6 этапов для малых мостов и 8—9 этапов для средних и больших мостов. Между этапами соблюдаются временные интервалы не менее 20—30 мин, необходимые для того, чтобы свод постепенно включался в работу.

Своды больших пролетов раскружаливают при помощи гидравлических домкратов.

Глава 6 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОСТЫ

6.1. 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 случаях, 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.

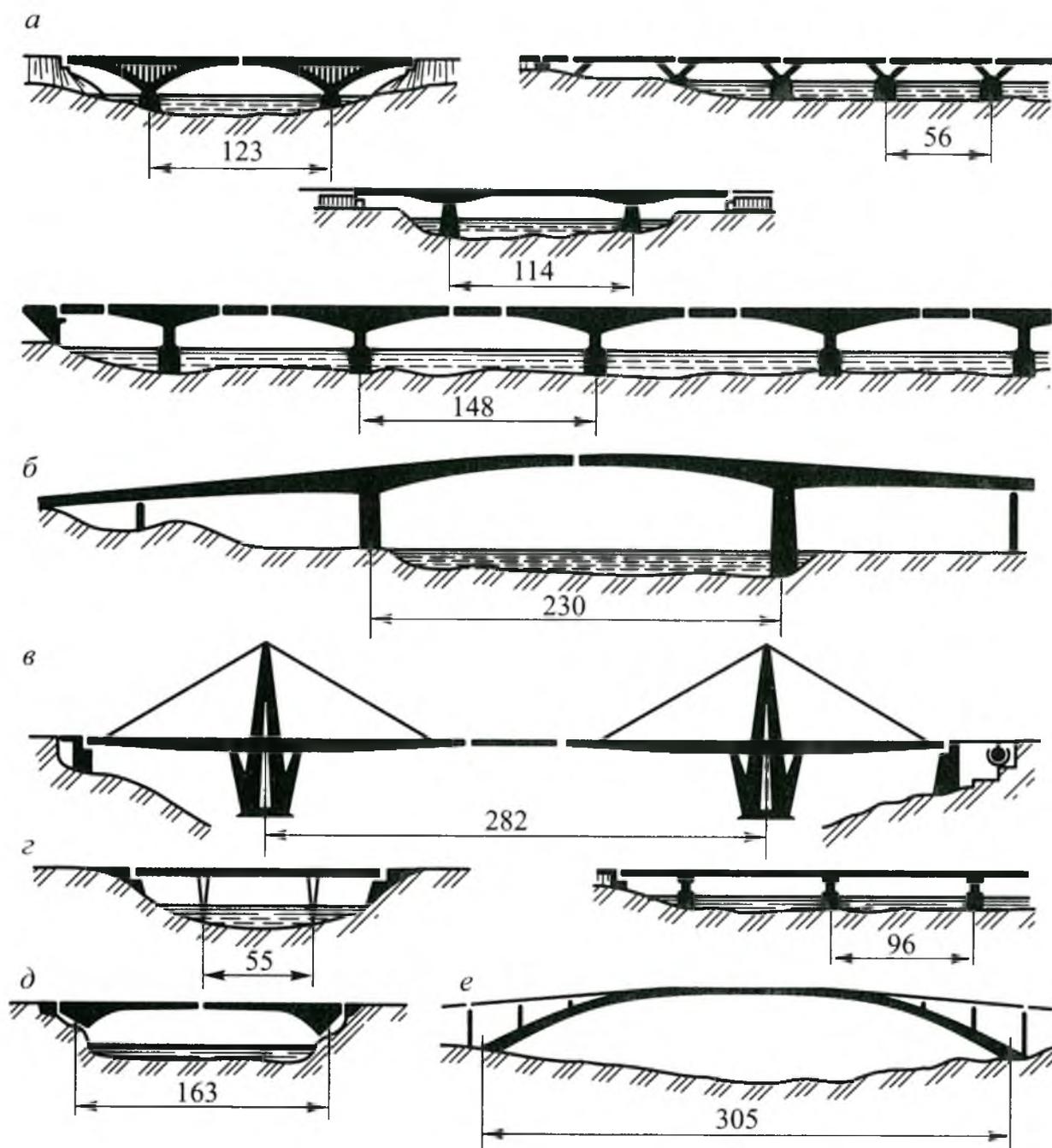


Рис. 6.1. Основные системы современных предварительно напряженных железобетонных мостов:

а — 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-

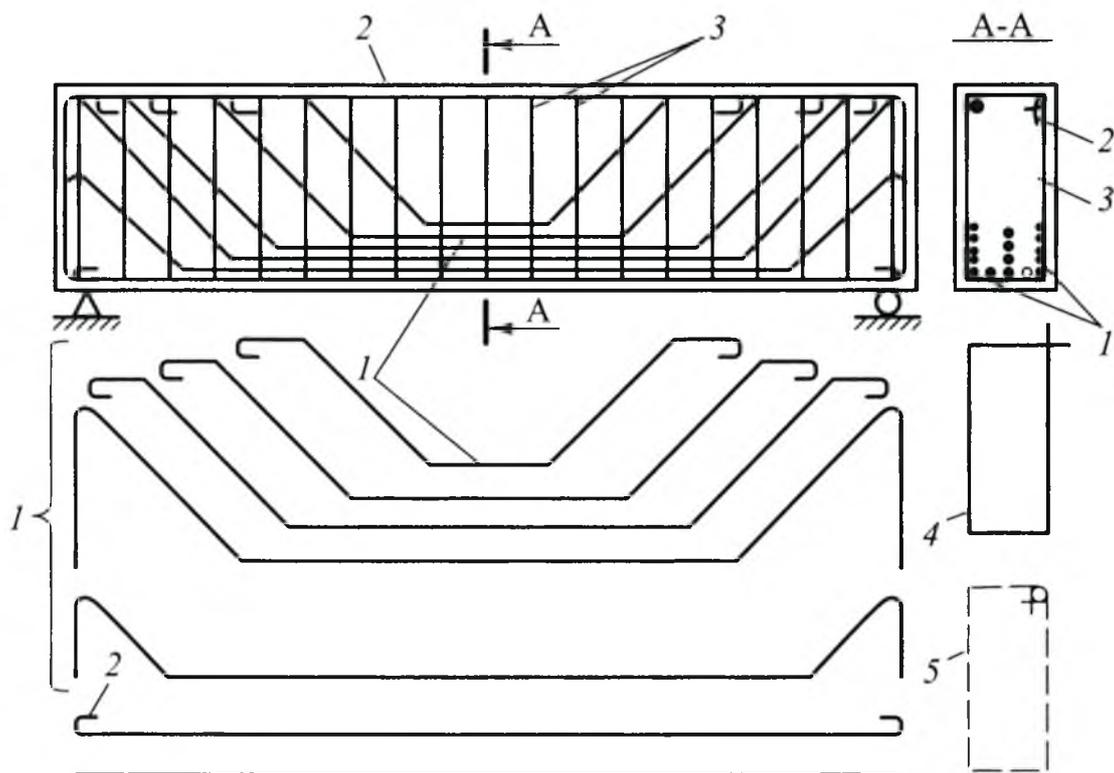


Рис. 6.2. Армирование балок:

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 СТЗ.

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, холоднотянутая, 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.

6.2. 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

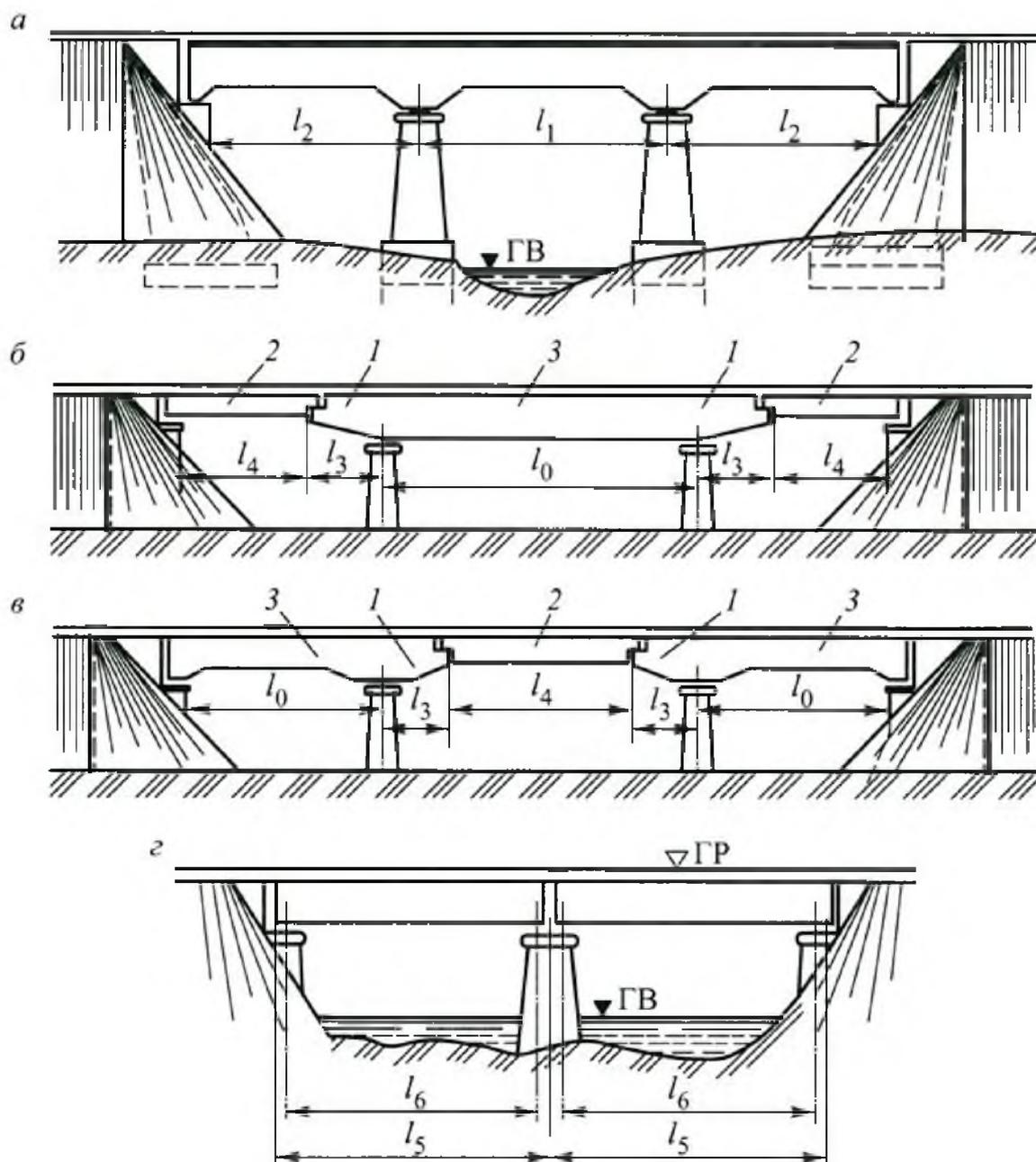


Рис. 6.3. Схемы балочных мостов:

a — 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 раз-
резного 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 мостов (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 понизу можно уменьшить, что и предусматривается в некоторых проектах.

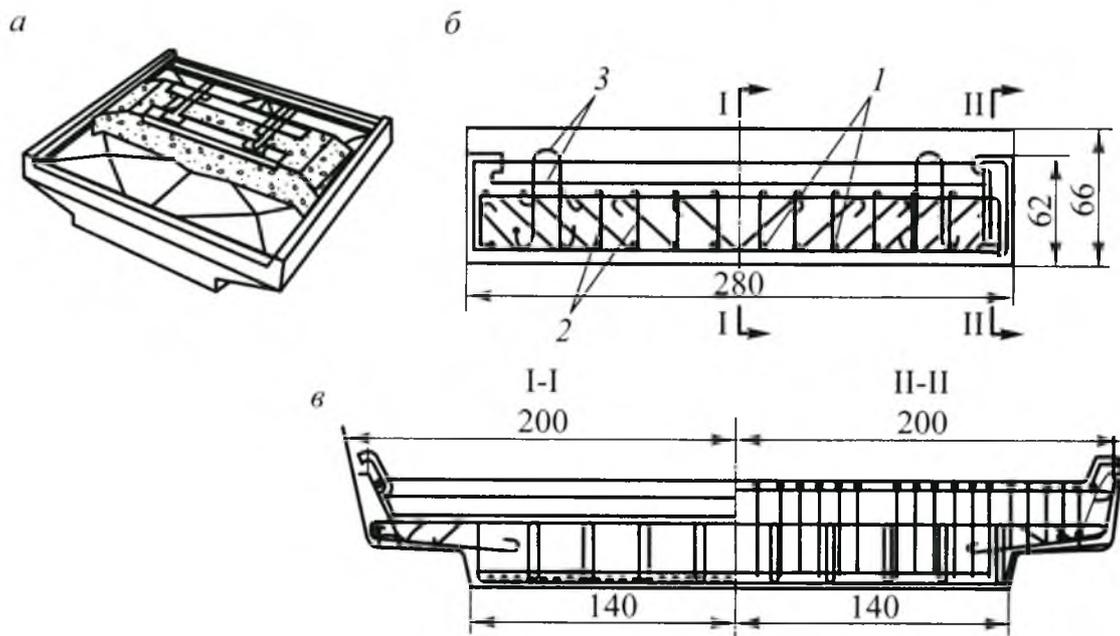


Рис. 6.4. Плитное пролетное строение:

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-

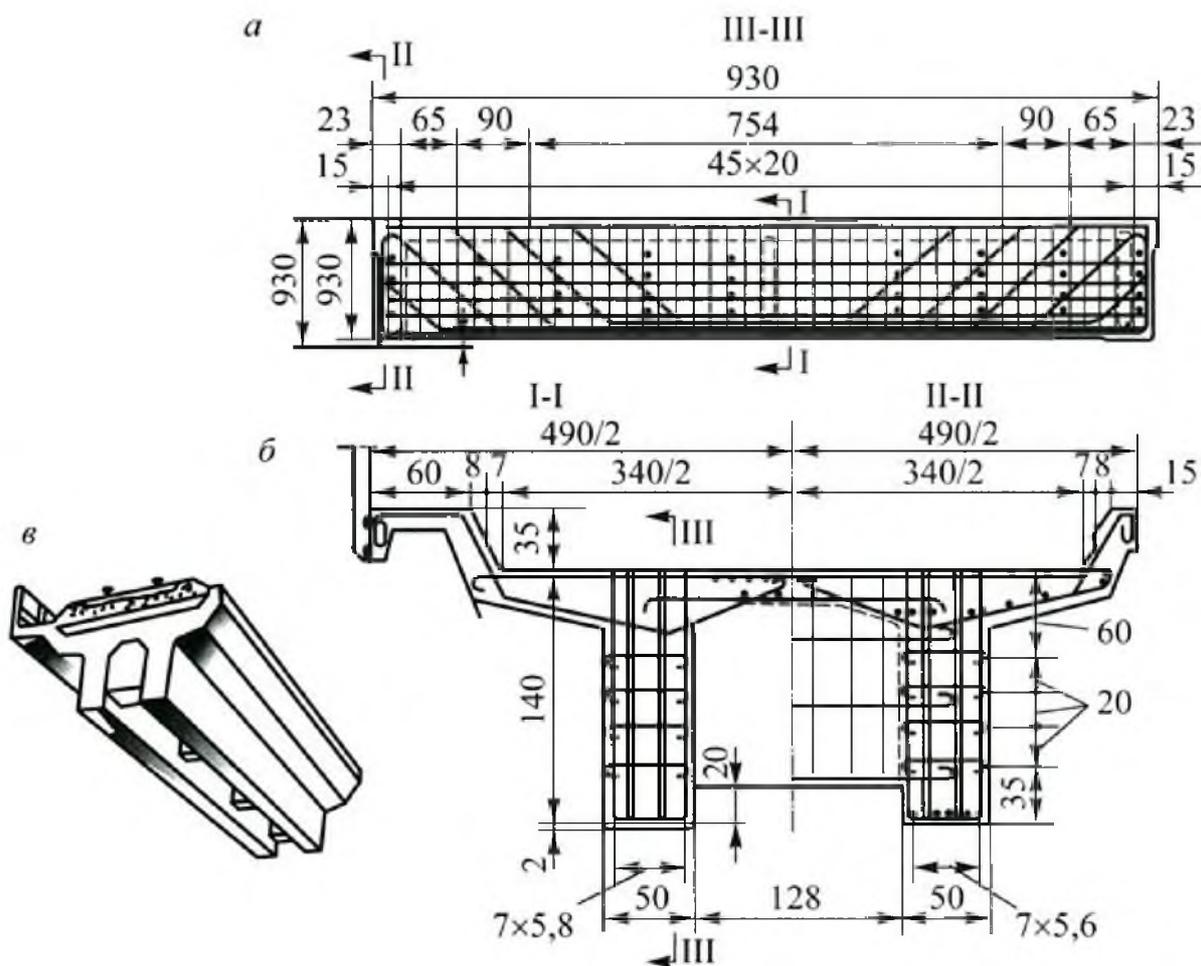


Рис. 6.5. Монолитное ребристое пролетное строение:
a — продольный разрез; *б* — поперечные разрезы; *в* — общий вид

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 ($d = 8 \div 22$ 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 загрузке 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-

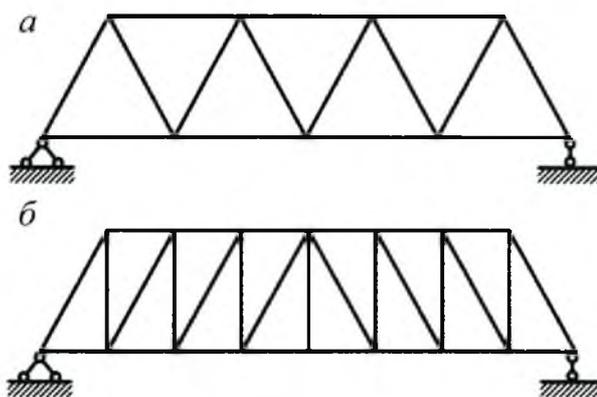


Рис. 6.6. Типы железобетонных ферм: *a* — с треугольной решеткой; *б* — с раскосой решеткой

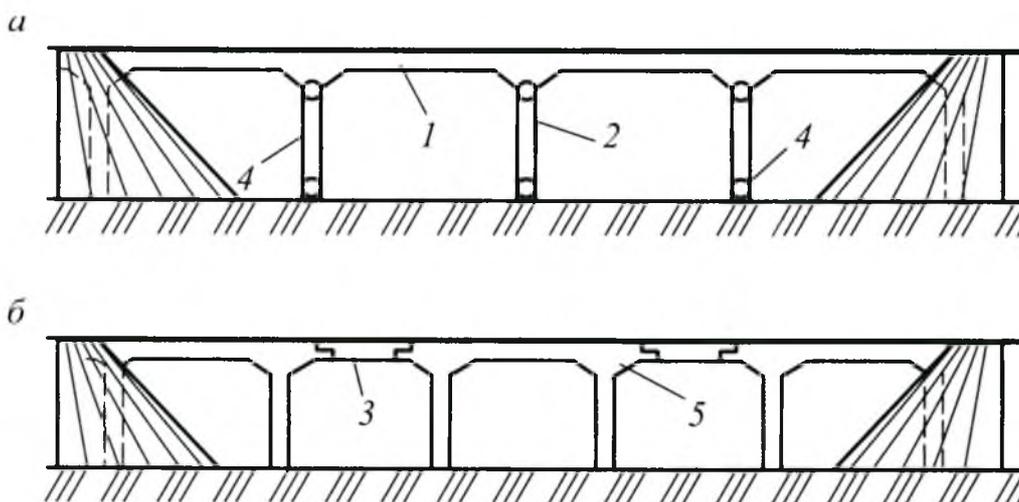


Рис. 6.7. Схемы рамных мостов:

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 корыта, поперечными балками-диафрагмами, распорками и общим фундаментом.

Существенным недостатком рамных систем является их непригодность для индустриального 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 плывающими 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 35×35 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

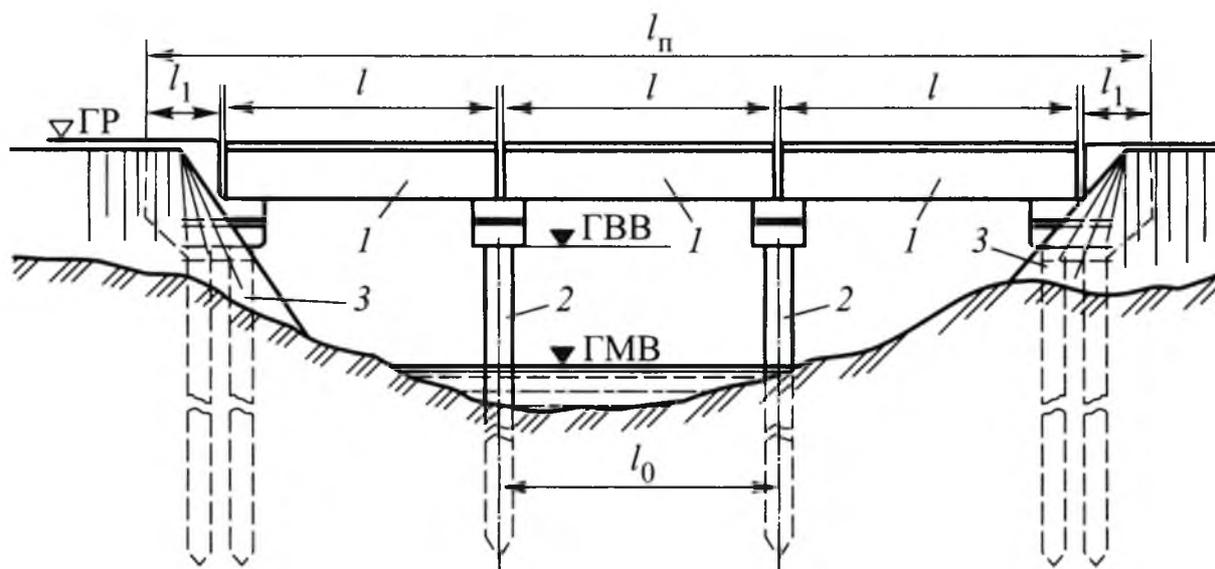


Рис. 6.8. Свайно-эстакадный мост:

- 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; $l_{\text{п}}$ — полная длина моста

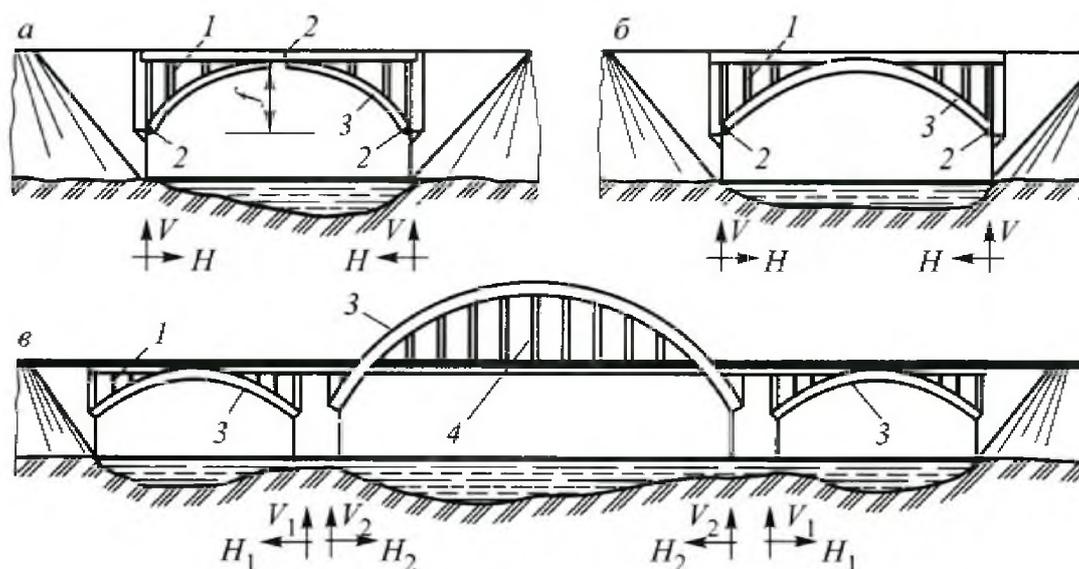


Рис. 6.9. Арочные пролетные строения:

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).

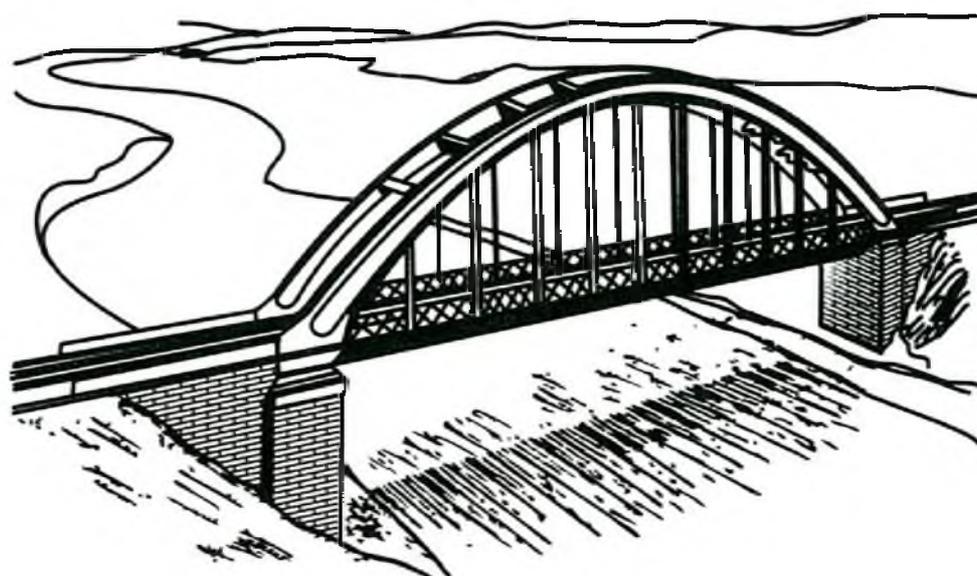


Рис. 6.10. Железобетонный арочный мост

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 арки 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-

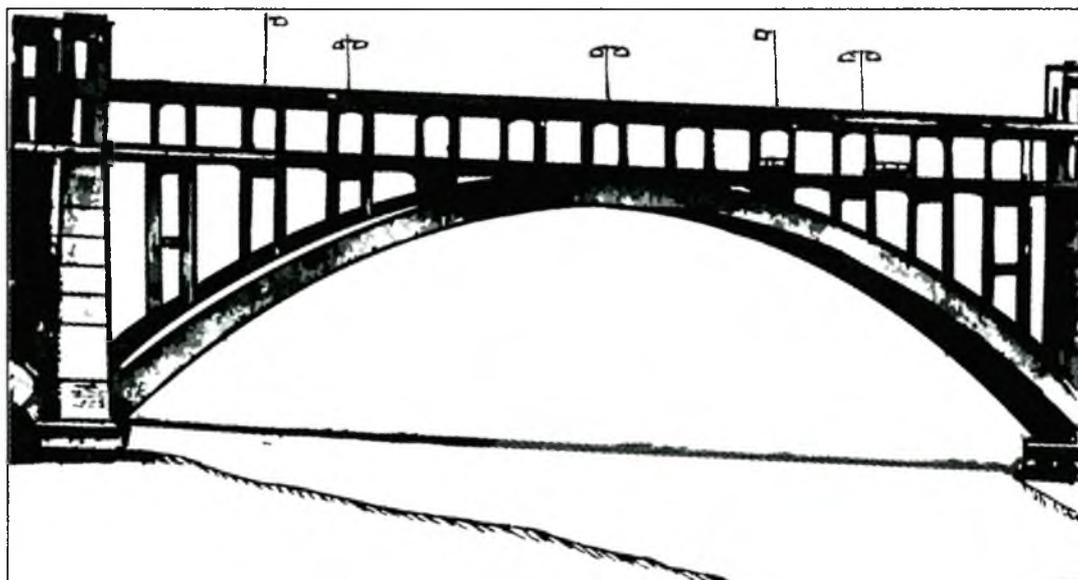


Рис. 6.11. Арочно-распорный мост с ездой поверху через р. Днепр

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 распорных 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 Гипротрансместом, 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 про-

езжей 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 крепе-

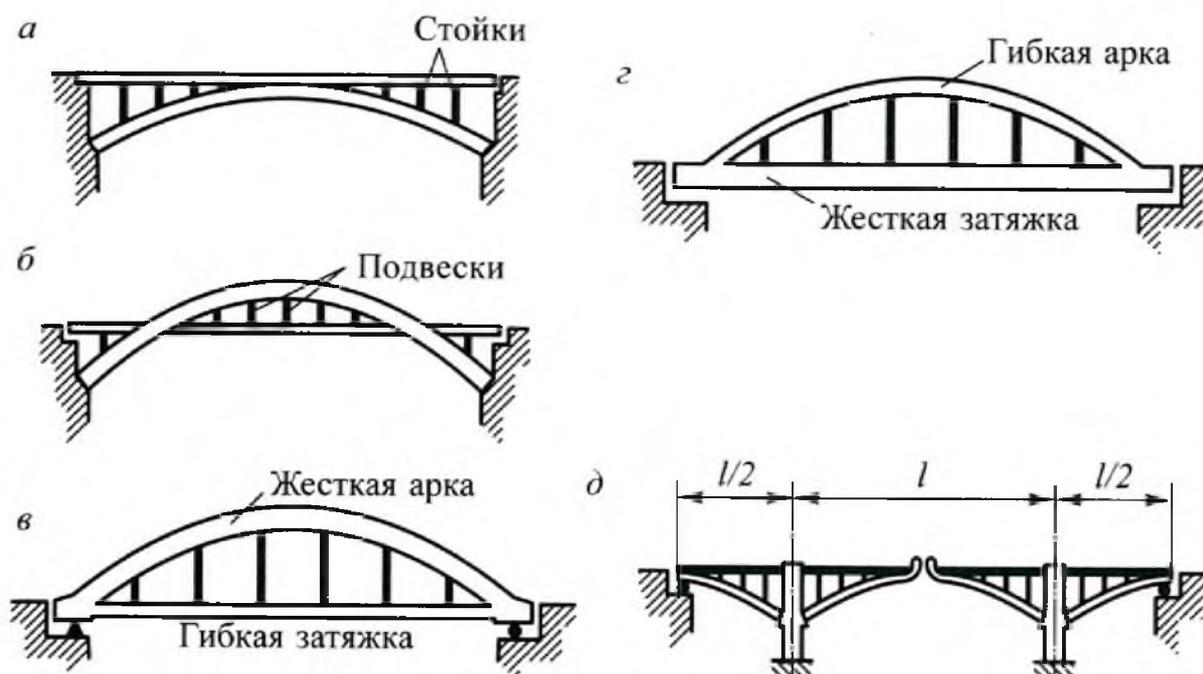


Рис. 6.12. Виды железобетонных арочных мостов:

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 пилону 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.

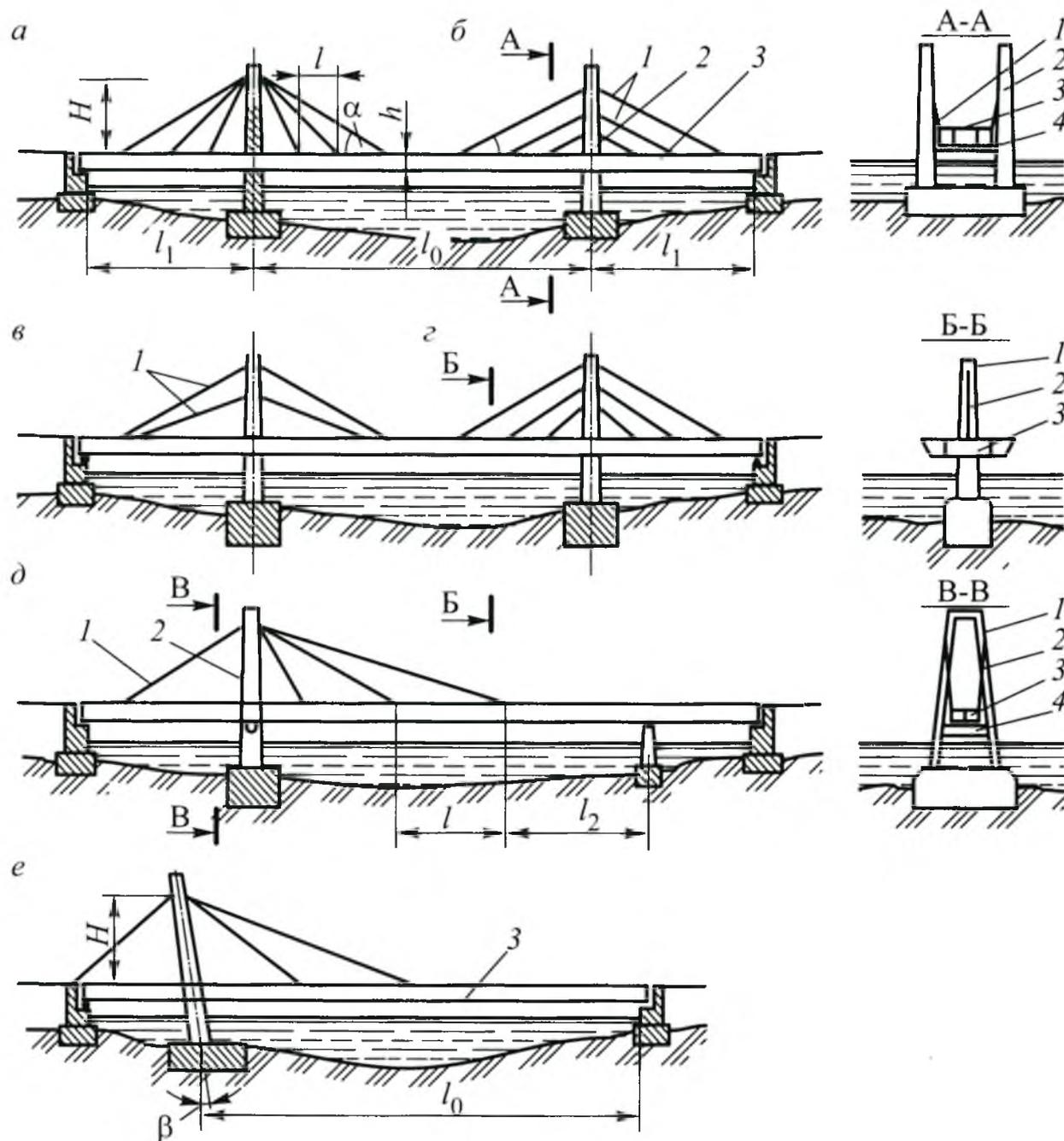


Рис. 6.13. Схемы вантовых мостов:

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

6.3. Постройка мостов

Характерной особенностью отечественного мостостроения является широкое применение сборного предварительно напряженного железобетона, унифицированных и типовых железобетонных конструкций. Наличие заводов, изготавливающих пролетные строения, опоры и другие конструкции, превращает строительные площадки в монтажные с высоким уровнем комплексной механизации.

При сооружении пролетных строений из составных по длине балок на заводах изготавливают блоки, а на строительной площадке укрупняют их в балки необходимой длины. При укрупнительной сборке составная балка напрягается натяжением пучков, проходящих в закрытых каналах блоков. После натяжения каналы инъецируются цементным раствором, что защищает высокопрочную проволоку от коррозии и создает монолитность конструкции. Разрезные балочные пролетные строения длиной 33—70 м монтируют различными способами в зависимости от местных условий, наличия кранового оборудования и назначенных сроков строительства. Монтаж ведут с помощью консольных, козловых, порталных, консольно-шлюзовых кранов и плавучих кранов. Перевозка крупных блоков на плавучих опорах является рациональным способом сооружения неразрезных железобетонных мостов. Сущность метода заключается в изготовлении на берегу крупных блоков пролетных строений, погрузке готовых блоков на плавсредства, транспортировке их на ось моста и установка на опоры. Метод установки крупных блоков на плаву применен при сооружении неразрезного железобетонного пролетного строения длиной 710 м — автодорожного моста через р. Волгу у Саратова.

Широкое распространение получил метод навесного монтажа. Сущность метода заключается в том, что собираемая часть пролетного строения не опирается на подмости, а крепится к ранее собранной части, образуя консоль, длина которой по ходу сборки постепенно увеличивается. При уравновешенном навесном монтаже пролетное строение собирается равномерно в обе стороны от опоры. Применение навесного монтажа наиболее целесообразно для мостов рамно-консольных, рамно-подвесных, неразрезных и балочно-консольных. Для навесного монтажа береговых и пойменных пролетов пролетных строений консольных и неразрезных систем применяют порталный и козловой краны грузоподъемностью 65—100 т. Краны этого типа передвигаются понизу вдоль моста по специально устроенным эстакадам, пролет крана охватывает собираемую конструкцию и пути

подачи элементов сборки. При сборке неразрезных пролетных строений метод навесного монтажа впервые был использован в нашей стране на строительстве городского моста через р. Москву в Нагатино. Мост сооружен по схеме 60+114+60 м. Ширина проезжей части моста — 40 м, в том числе для автопроезда — 23 м, два тротуара по 3,5 м и обособленное полотно метрополитена 10 м.

Консольно-шлюзовые краны успешно применяют как у нас, так и за рубежом. Например, консольно-шлюзовыми кранами, с фермами длиной по 164 м, выполнен уравновешенный монтаж пролетных строений 14 км моста через залив Гуанабара между городами Рио-де-Жанейро и Рио-Нитерой (Бразилия). Средняя часть этого моста перекрыта почти сотней пролетов длиной по 80 м. Каждый пролет одной балки состоит из 17 блоков длиной 4,8 м, за исключением надопорного длиной 2,8 м. Всего в конструкции моста было использовано 3200 блоков массой 80—100 т. Блоки изготовляли на полигоне в десятках комплектов раскрывающейся опалубки, снабженной гидравлическими приспособлениями. Особое внимание уделялось точности изготовления элементов. Каналы для предварительно напряженных элементов образовывали с помощью труб. Для ускорения твердения бетона применялся пар, подогрев заполнителей, электропрогрев опалубки. Примерно за 6 часов бетон набирал прочность 150 кг/см^2 , что достаточно для распалубливания. Готовый блок служил торцевой стенкой опалубки при бетонировании следующего блока. Пролет длиной 80 м собирался уравновешенным навесным способом на клееных стыках за 5 суток.

Сущность метода навесного бетонирования заключается в том, что консоль пролетного строения наращивается последовательным бетонированием примыкающих секций.

Каждая секция в процессе ее бетонирования и твердения консоли поддерживается легкими передвижными подмостями, закрепленными на ранее сооруженной части пролетного строения. Уравновешенное навесное бетонирование пролетных строений производится в обе стороны от опоры секциями длиной 3—6 м в последовательности, обеспечивающей на любой стадии бетонирования устойчивость сооружаемой конструкции.

При сооружении многопролетных мостов применяется смешанный метод, при котором крайние пролетные строения возводятся на сплошных подмостях, а средние — навесным бетонированием.

Метод продольной надвигки железобетонных неразрезных пролетных строений состоит в том, что неразрезная балка пролетного

строения постоянной высоты коробчатого сечения собирается на берегу из отдельных блоков заводского изготовления или бетонируется отдельными секциями на подходе, а затем надвигается в пролет. Собирать балку рекомендуется по мере ее подвижки наращиванием блоками с тыловой стороны. Продольная надвигка пролетного строения выполняется не перекаткой его по каткам, а скольжением, благодаря чему отпадает необходимость в устройстве сложных и громоздких верхних и нижних накаточных путей из рельсовых пакетов. Надвигка скольжением решена с помощью накаточных устройств с применением прокладок из антифрикционного материала «фторопласта-4» — стального полированного и хромированного листа, коэффициент трения которого по «фторопласту-4» около 0,05. Для продольной надвигки балок применяют горизонтально расположенные с тыльной части балок толкающие гидравлические домкраты, которые обеспечивают плавное движение пролетного строения. Для продольной надвигки необходимы хорошие подходы или специально сооруженные сборочные эстакады. Для организации надвигки пролетного строения на опоры монтируется специальная конструкция — аванбек¹. Аванбек предназначен для обеспечения возможности надвигки пролетного строения на опоры и предотвращения его опрокидывания в пролет. Пролетное строение прочно присоединяется к заднему торцу аванбека. В месте примыкания аванбека к торцу пролетного строения высота аванбека соответствует высоте балки. Передняя часть аванбека имеет меньшую высоту для уменьшения его веса и перемещения центра тяжести ближе к пролетному строению (рис. 6.14).

Способ пролетного бетонирования основан на последовательном многократном использовании подмостей и опалубки при строительстве мостов с одинаковыми пролетными строениями постоянной высоты и опорами в виде колонн и стоек, что необходимо для перемещения подмостей в соседний пролет без существенной их переработки. Границы участков бетонирования принимают в сечениях балки с минимальным изгибающим моментом. Участок бетонирования очередного пролета начинается от консоли ранее забетонированного пролетного строения и заканчивается в 5—6 м за опорой в следующем пролете. К основным преимуществам метода пролетного бетонирования относятся: возможность сооружения неразрезных монолитных предварительно-напряженных железобетонных пролетных

¹ Аван — от фр. *avant* — перед, бек — фр. *bee* — клюв.

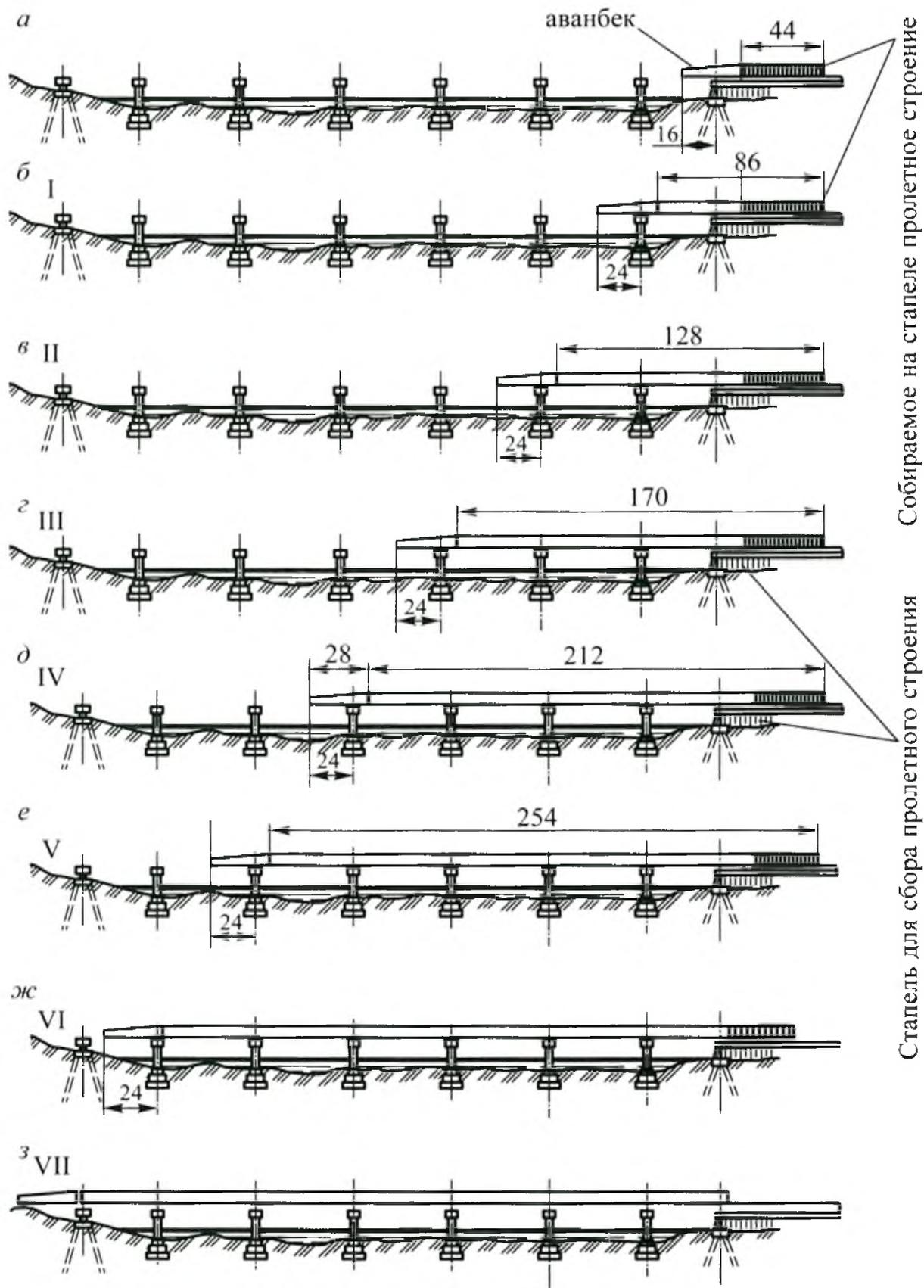


Рис. 6.14. Схема продольной надвигки пролетного строения:
a — исходное положение; *б—з* — этапы надвигки I—VII

строений, не имеющих монтажных стыков балок и деформационных швов в проезжей части, что обеспечивает высокие эксплуатационные качества мостов; возможность сооружения пролетных строений криволинейного очертания в плане при сложном рельефе местности в месте мостового перехода; поточность и цикличность производства работ на протяжении всего процесса строительства (многократное повторение рабочих циклов сокращает продолжительность строительства и общие затраты труда).

Недостатками метода пролетного бетонирования являются: необходимость последовательного сооружения опор и пролетных строений; большая трудоемкость работ на строительной площадке (по сравнению со сборными полетными строениями); большая масса и высокая стоимость инвентарных передвижных подмостей.

Метод пролетного бетонирования в последнее десятилетие получает все большее распространение в мире (например, мост Луегбрюкке, Австрия, длина моста 1800 м).

Можно выделить следующие основные пути развития и совершенствования конструктивных форм пролетных строений железобетонных мостов:

- совершенствования опалубочных форм — отказ от ребер жесткости и диафрагм (кроме опорных для железобетонных пролетных строений); обеспечение плавности очертаний контуров поперечных сечений балок; унификации размеров балок для железнодорожных и автодорожных мостов;

- совершенствование схем армирования — отказ от жесткой продольной арматуры и хомутов из полосовой стали, использование арматуры из стержней периодического профиля, переход на сварные сетки и каркасы; применение ортогонального армирования (без отогнутых стержней) с физическим обрывом стержней продольный рабочий арматуры в соответствии с эпюрой моментов; применение внешнего армирования (в автодорожных мостах);

- совершенствование системы водоотвода — устройство гидроизоляции плиты балластного корыта; отказ от отвода воды за устой моста (в железнодорожных мостах), увеличения диаметра водоотводных труб, устройство отвода воды через продольный шов балок.

Мостовое полотно. На ж.-б. пролетных строениях мостовое полотно, как правило, устраивается с ездой на балласте. Мостовое полотно может устраиваться безбалластным, т.е. путь прикрепляется

непосредственно к железобетонной плите. Мостовое полотно на железобетонных мостах может устраиваться также на деревянных, металлических или железобетонных поперечинах. На участках скоростного движения на мостах длиной более 25 м предусматриваются площадки-убежища для размещения людей и материалов при проходе поездов. Убежища размещаются на удлинённых железобетонных или металлических консолях через 25 м в шахматном порядке. Ширина убежища должна быть не менее 1 м, а длина убежища — не менее 3 м.

6.4. Планирование работ по постройке моста

В задачу планирования строительства искусственных сооружений входит распределение работ таким образом, чтобы строительная организация была равномерно загружена в течение всего срока строительства. Для мостостроения надо учитывать особенности режима реки, так как колебания уровня воды, начало и конец паводка, ледовый режим, скорость течения воды в реке определяют сроки и способы производства отдельных видов мостостроительных работ. Климатические условия влияют на сроки планирования работ, на характер и конструкцию вспомогательных сооружений и приспособлений. С целью своевременного развертывания и планомерного осуществления строительно-монтажных работ в заданные сроки с равномерными ритмичными затратами труда, использованием оборудования, приспособлений, машин, механизмов составляется календарный план строительства — один из основных документов проекта.

При разработке проекта организации строительства (ПОС) составляется директивный график по укрупненным измерителям с распределением работ по годам (месяцам), с указанием их трудоемкости и сметной стоимости (рис. 6.15). Кроме директивного графика, разрабатывается линейный график для строительства группы искусственных сооружений, увязанный с линейным графиком строительства дороги. В нем указываются сроки начала и конца строительства каждого из сооружений в увязке со сроками основных дорожно-строительных работ — возведением земляного полотна, устройством верхнего строения пути.

Календарный график строительства группы искусственных сооружений предусматривает распределение основных работ (монтаж опор и пролетных строений, устройство регуляционных сооружений и др.) на каждом из сооружений по времени года. Кроме этого, график показыва-

Глава 7 СТАЛЬНЫЕ МОСТЫ

7.1. 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.

7.2. 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 маркировки 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 (Δl) пропорционально приложенной к нему нагрузке (P), называется пределом пропорциональности. Деформации образца, в котором напряжения не превышают предела пропорциональности, являются уп-

ругими, 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):

$$\sigma_{\text{вр}} = P/F_0,$$

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

P — нагрузка, соответствующая временному сопротивлению;

F_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца, мм².

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

$$\delta = \frac{(L_1 - L_0)}{L} = \frac{\Delta L}{L} 100,$$

где δ — 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/см²). 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».

7.3. 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 прокатываются калибром от 40+40×3 до 250+250×30 мм. В неравнобоких уголках одна полка в 1,5 раза шире другой; эти уголки прокатываются калибром от 50+32×3 до 250+160×20 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.

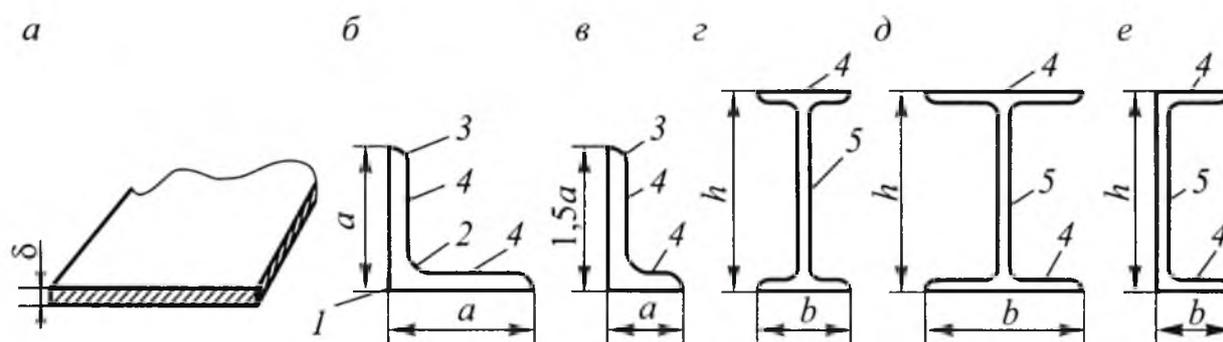


Рис. 7.1. Профили прокатной стали:

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

7.4. 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 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).

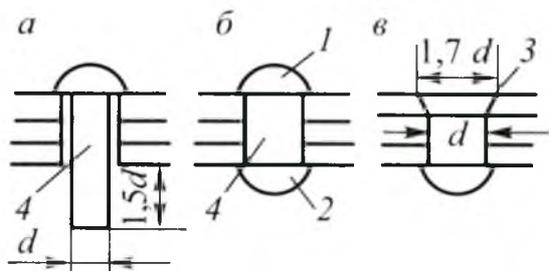


Рис. 7.2. Виды заклепок:
a — до клепки; *б* — после клепки;
в — с потайной головкой; 1 — закладная головка; 2 — замыкающая головка; 3 — потайная головка; 4 — стержень

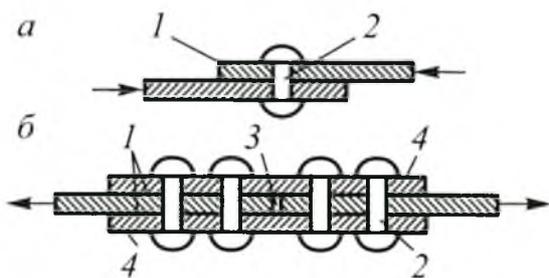


Рис. 7.3. Соединения на заклепках:
a — односрезное соединение — соединение внахлестку; *б* — двухсрезное соединение — соединение встык с двумя накладками; 1 — срез; 2 — смятие; 3 — стык; 4 — накладка

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, об-

разующаяся 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

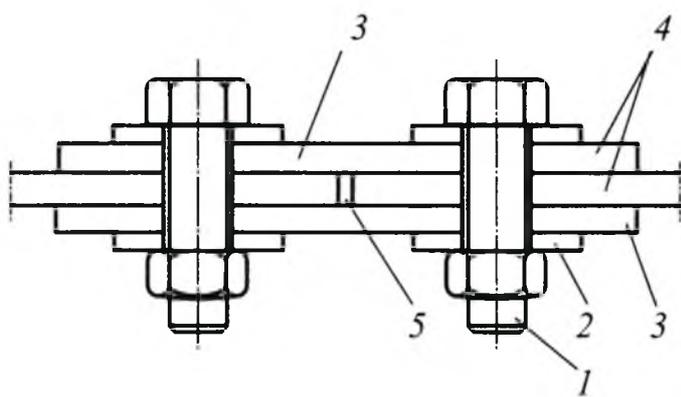


Рис. 7.4. Стык на высокопрочных болтах:
 1 — болт; 2 — шайба; 3 — накладка;
 4 — поверхности трения; 5 — стык

напряжений, лучшую работу на многократно повторяемую нагрузку, высокую надежность и поэтому являются основным видом монтажных соединений стальных мостовых конструкций. В этих соединениях болты подвергаются большему предварительному напряжению, и по соприкасающимся поверхностям соединяемых элементов в результате 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 прикрепления 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° , — 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.

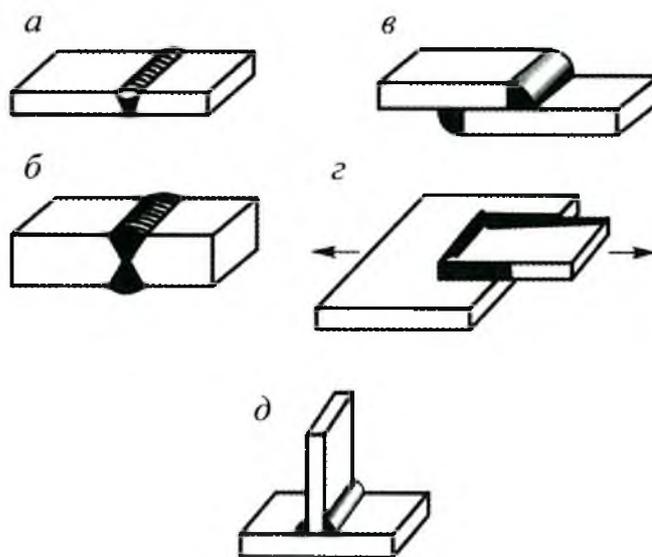


Рис. 7.5. Виды сварных швов: а, б — стыковые; в, з, д — угловые

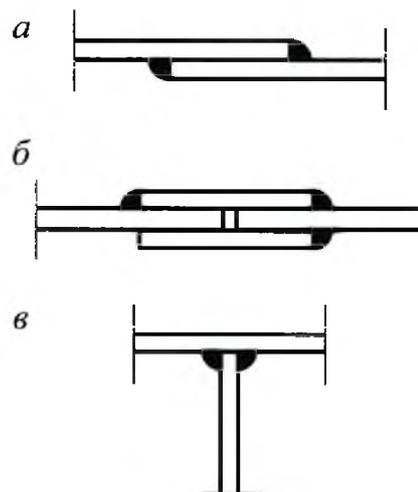


Рис. 7.6. Сварные соединения: а — внахлестку; б — с накладками; в — в тавр

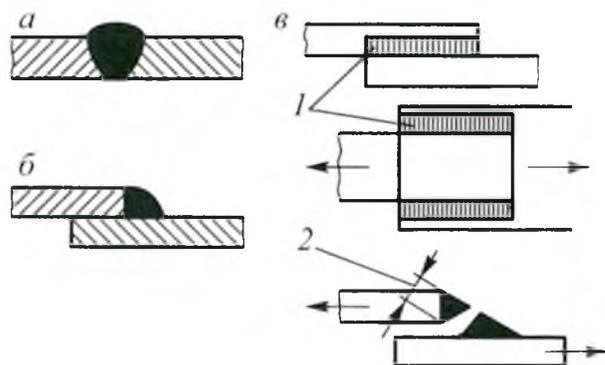


Рис. 7.7. Виды соединений элементов металлических мостов:

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

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 г. 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.

Соединения впритык (в тавр) осуществляется угловыми швами. 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 металах или потолочных швах.

7.5. 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.

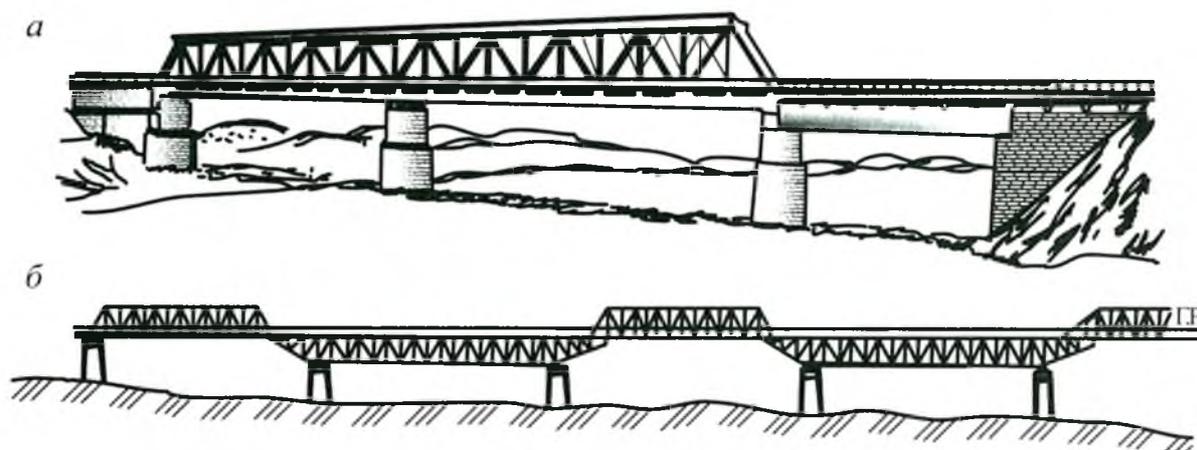


Рис. 7.8. Виды стальных мостов:

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

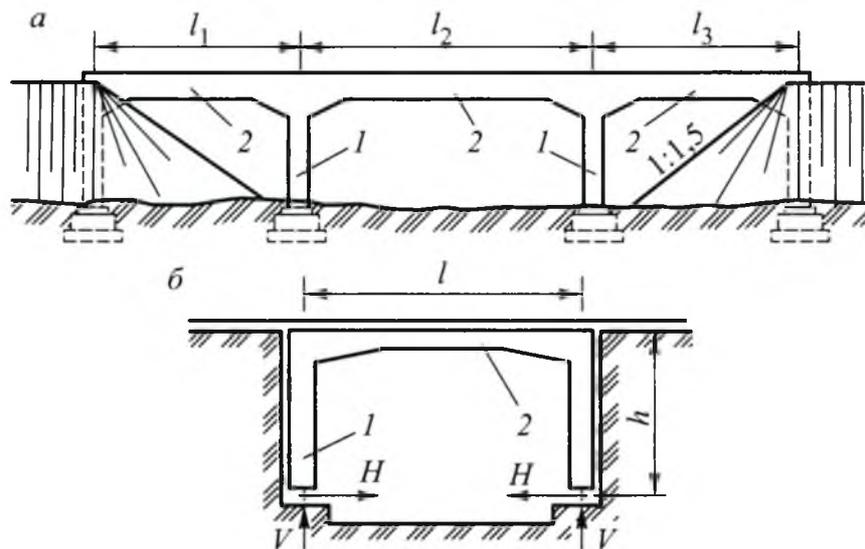


Рис. 7.9. Схемы рамных мостов:

a — рамный неразрезной трехпролетный мост; *б* — рамный однопролетный мост; l — 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

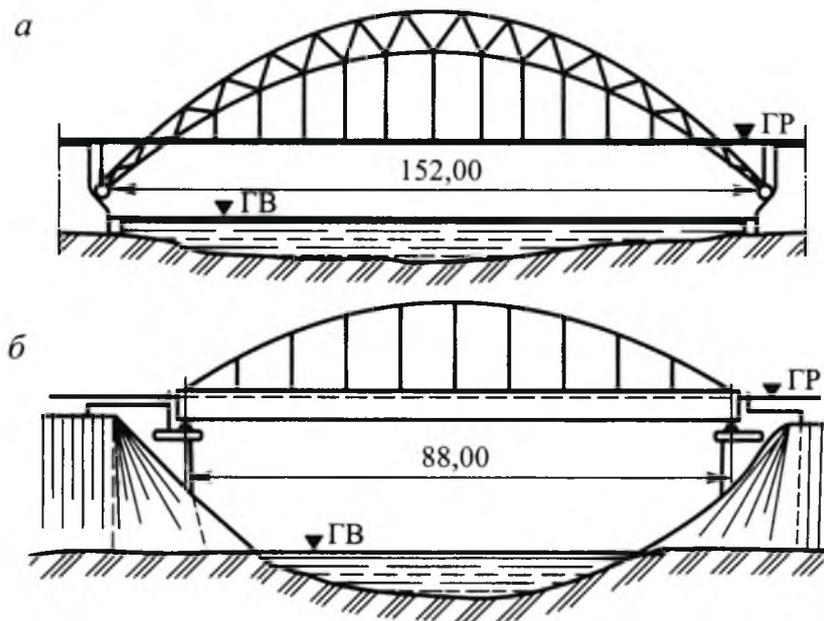


Рис. 7.10. Схемы арочных мостов:

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-

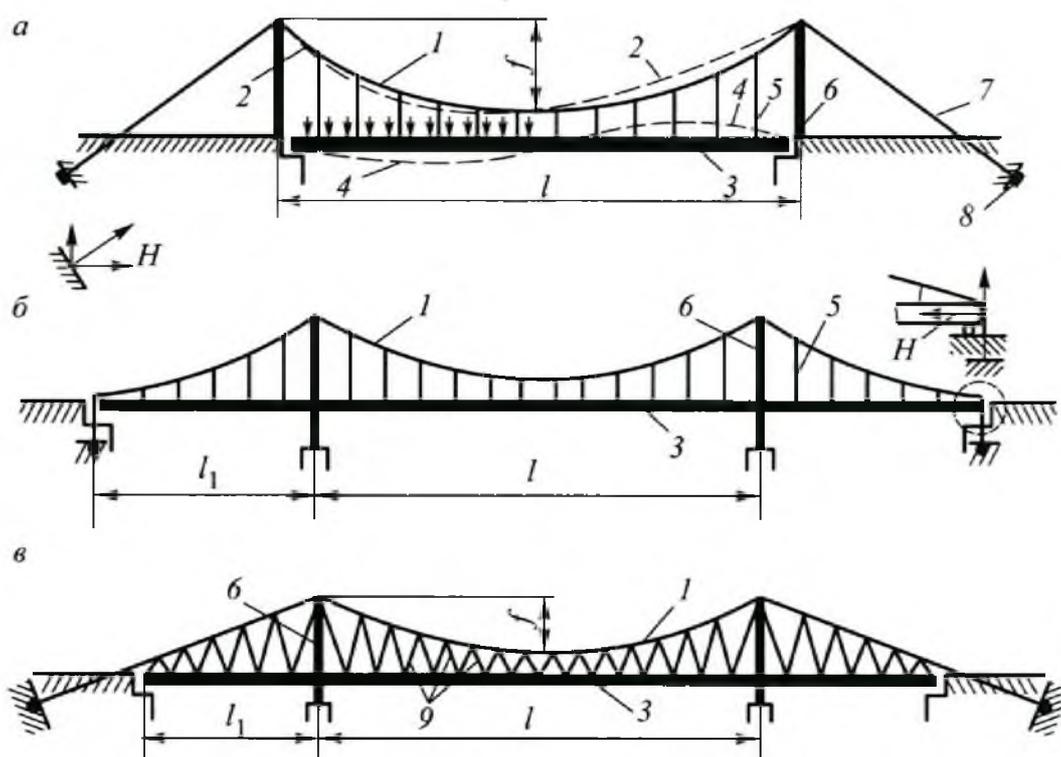


Рис. 7.11. Схемы висячих мостов:

a — 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

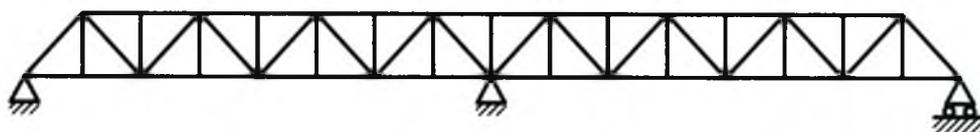


Рис. 7.12. Балочно-неразрезное пролетное строение

пролеты до 300 м, но неразрезные фермы чувствительны к неравномерным 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-

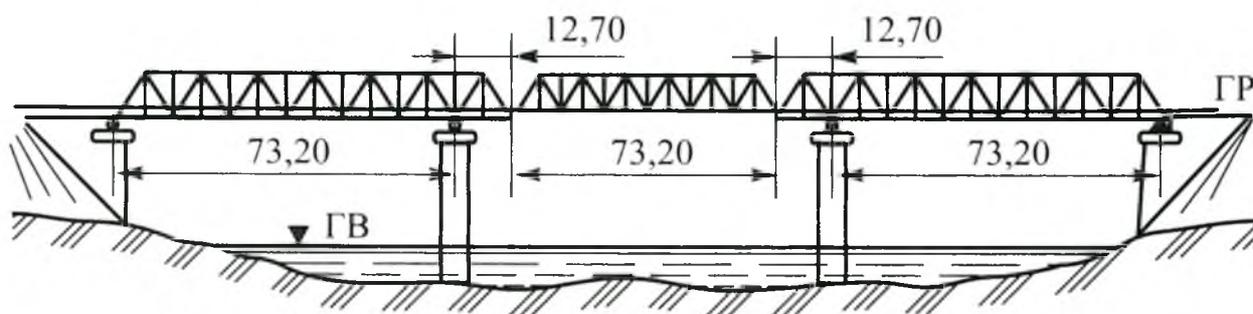


Рис. 7.13. Балочно-консольные пролетные строения

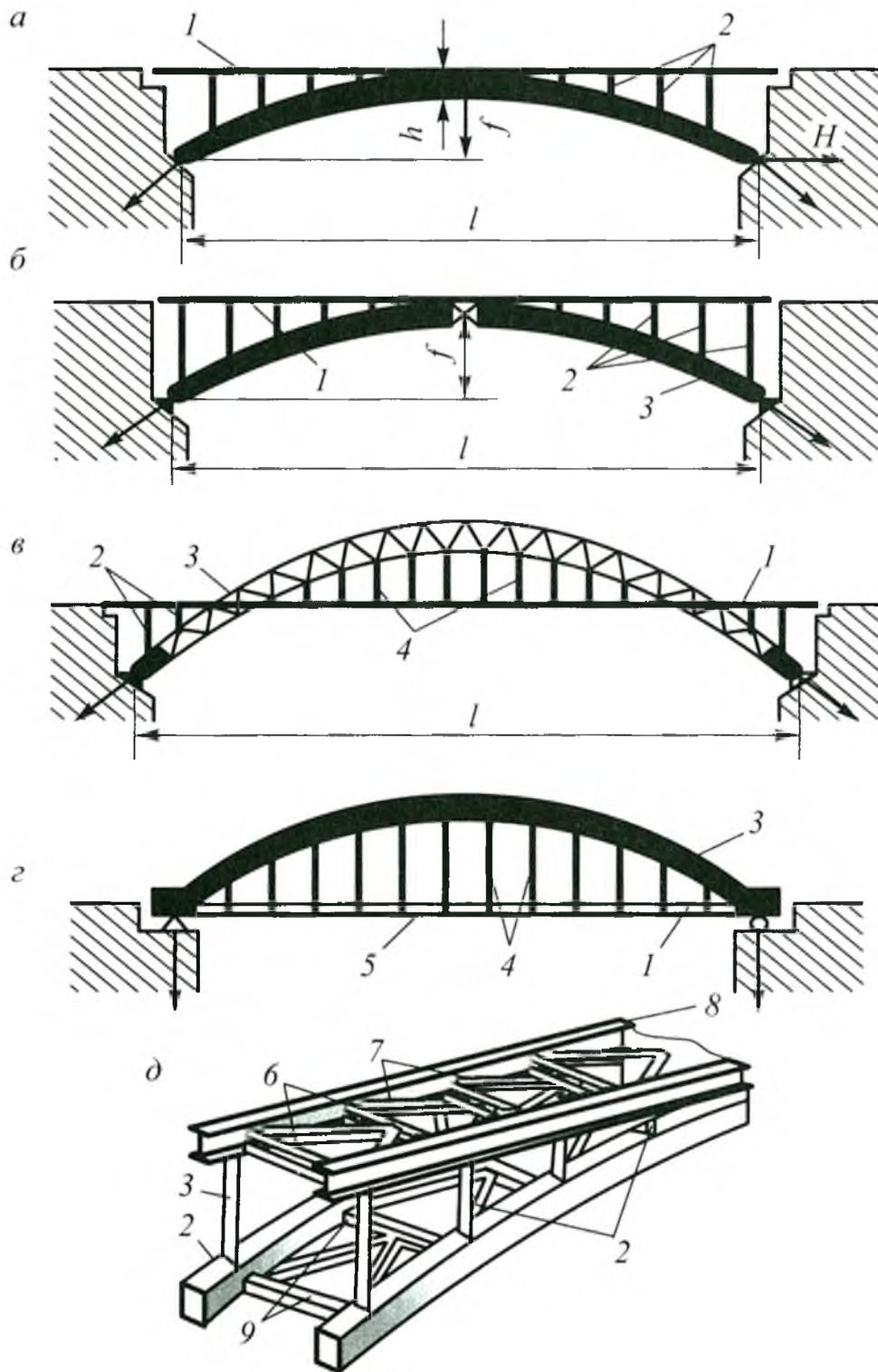


Рис. 7.14. Основные системы металлических арочных мостов:
а — арочный двухшарнирный однопролетный мост с ездой поверху; *б* — трехшарнирный мост с ездой поверху; *в* — арочный мост с ездой посередине;
г — арка с жесткой затяжкой; *д* — деталь конструкции арки; *1* — конструкция проезжей части; *2* — 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 типизации 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-

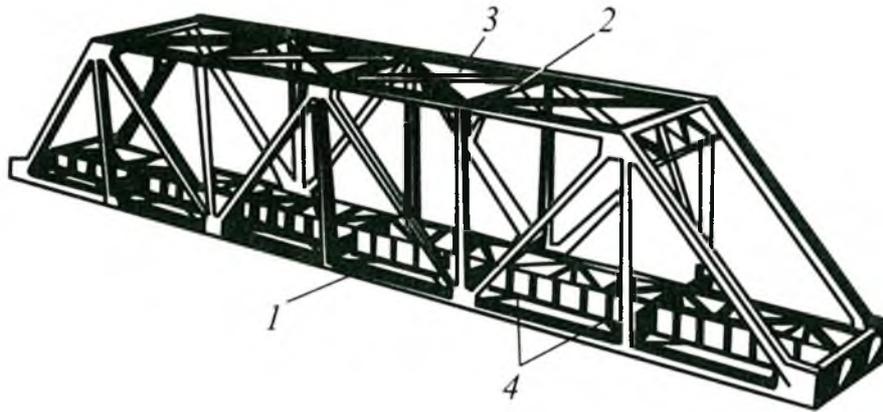


Рис. 7.15. Основные части пролетного строения:

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-

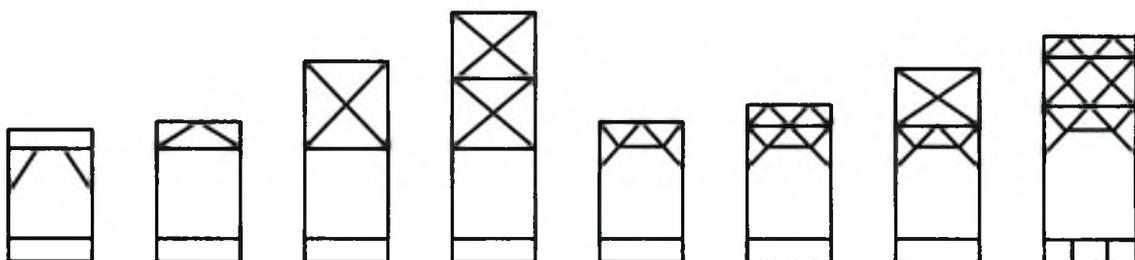


Рис. 7.16. Схемы поперечных связей между фермами

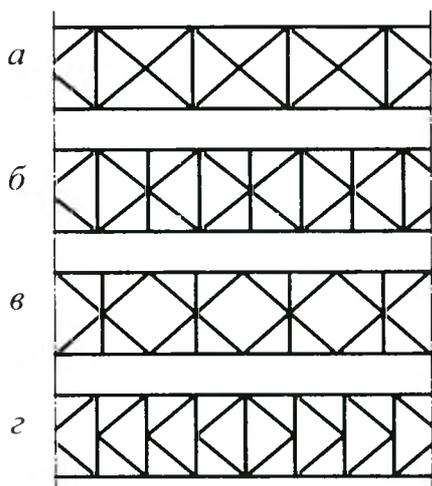


Рис. 7.17. Схемы продольных связей между фермами:
a — крестовая; *б* — с дополнительными распорками; *в* — ромбическая; *г* — полураскосная

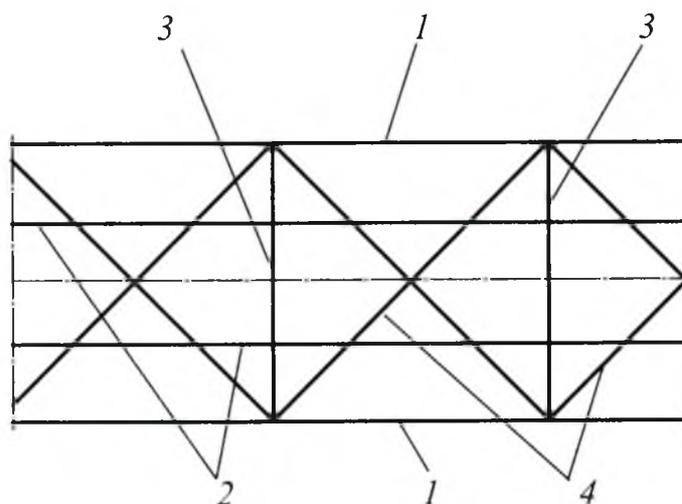


Рис. 7.18. Проезжая часть металлической фермы:
1 — нижний пояс фермы; *2* — продольные балки; *3* — поперечные балки; *4* — тормозные связи

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.

7.6. 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 $2h_{ст}$, где $h_{ст}$ — 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).

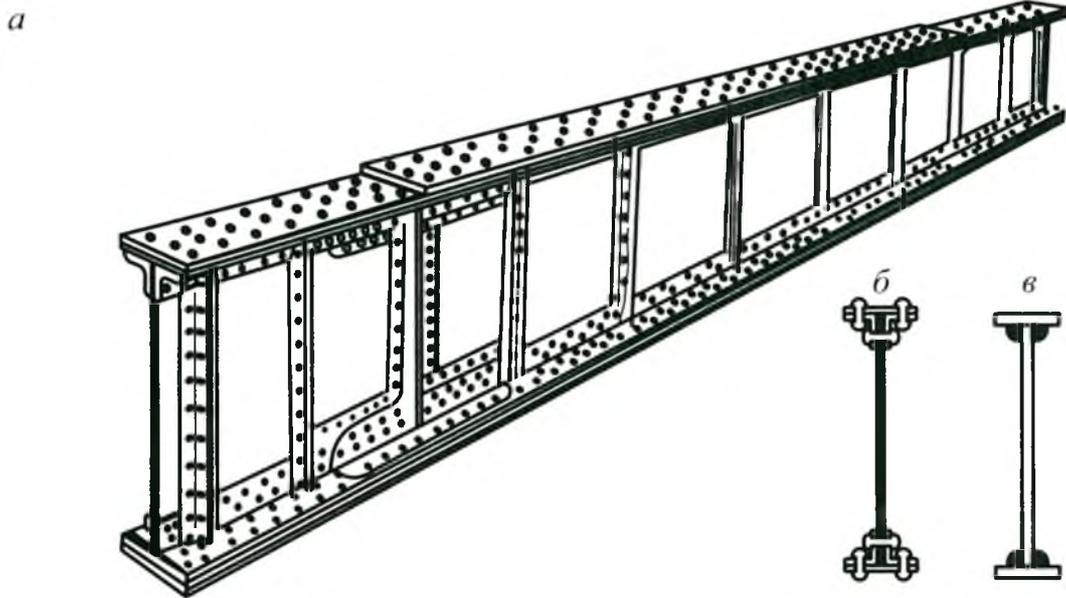


Рис. 7.19. Балка со сплошной стенкой:
a — общий вид; *б* — сечение клепаной балки; *в* — сечение сварной балки

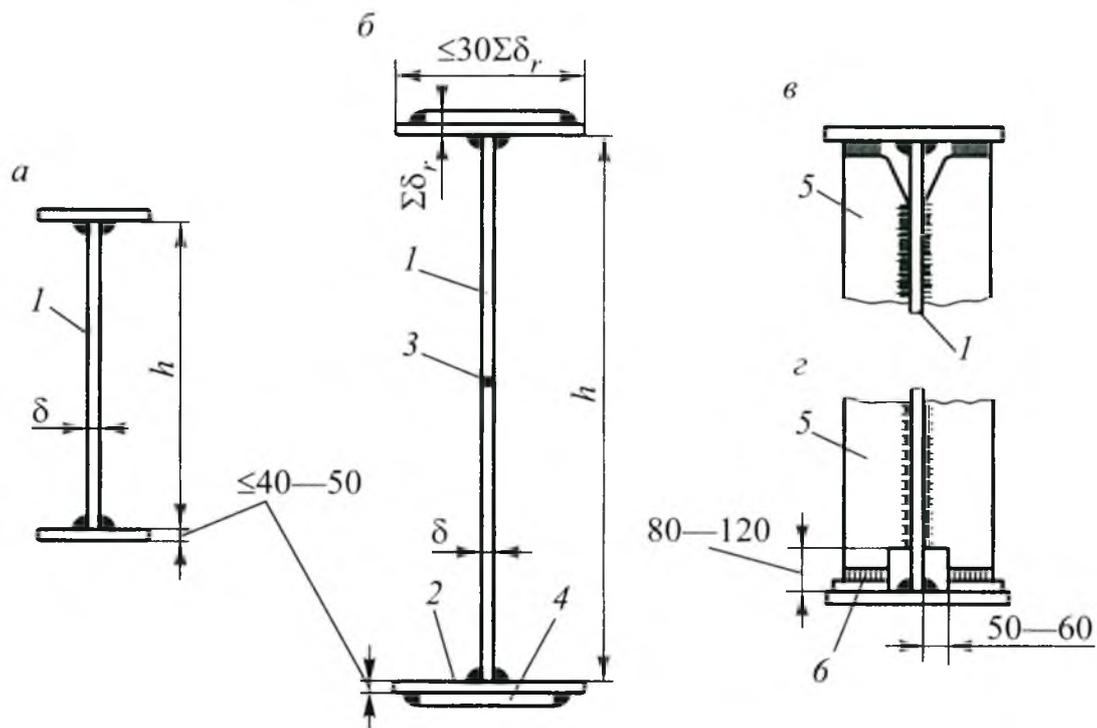


Рис. 7.20. Конструкция сварных двутавровых балок:
a — балка с одним поясным листом; *б* — балка с двумя поясными листами;
в — деталь соединения вертикальной стенки и поясного листа с вертикальным ребром жесткости; *1* — вертикальная стенка; *2* — поясной лист; *3* — продольный стык вертикальной стенки; *4* — второй поясной лист; *5* — вертикальное ребро жесткости; *б* — 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.

7.7. 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: рас-

косов, 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.

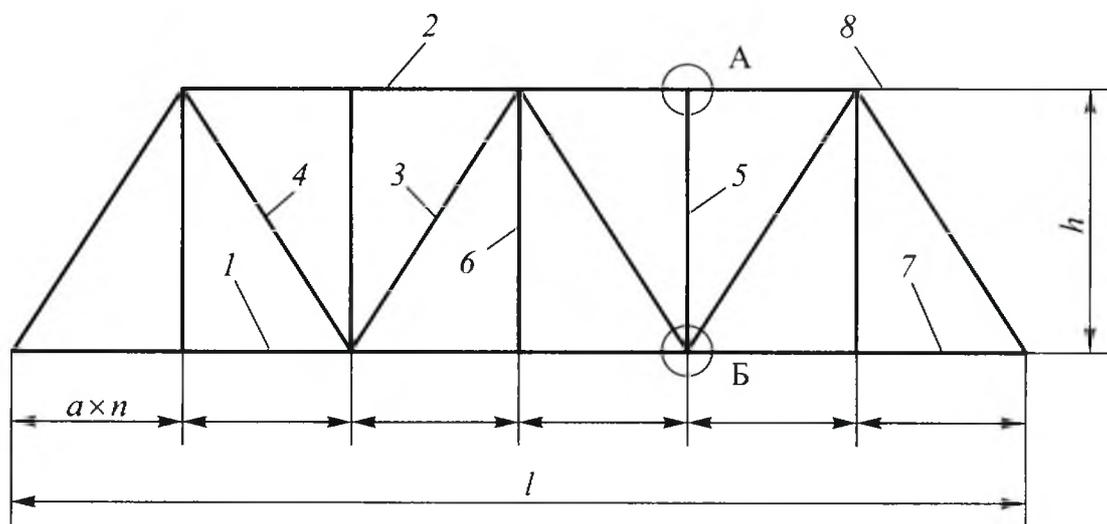


Рис. 7.21. Основные конструктивные элементы фермы:

- 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 раскосов 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-

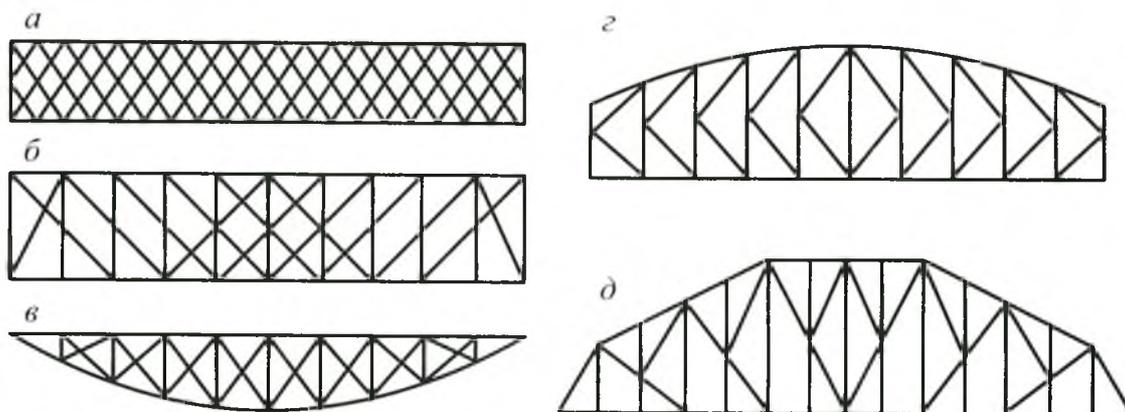


Рис. 7.22. Решетка ферм в старых мостах:

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

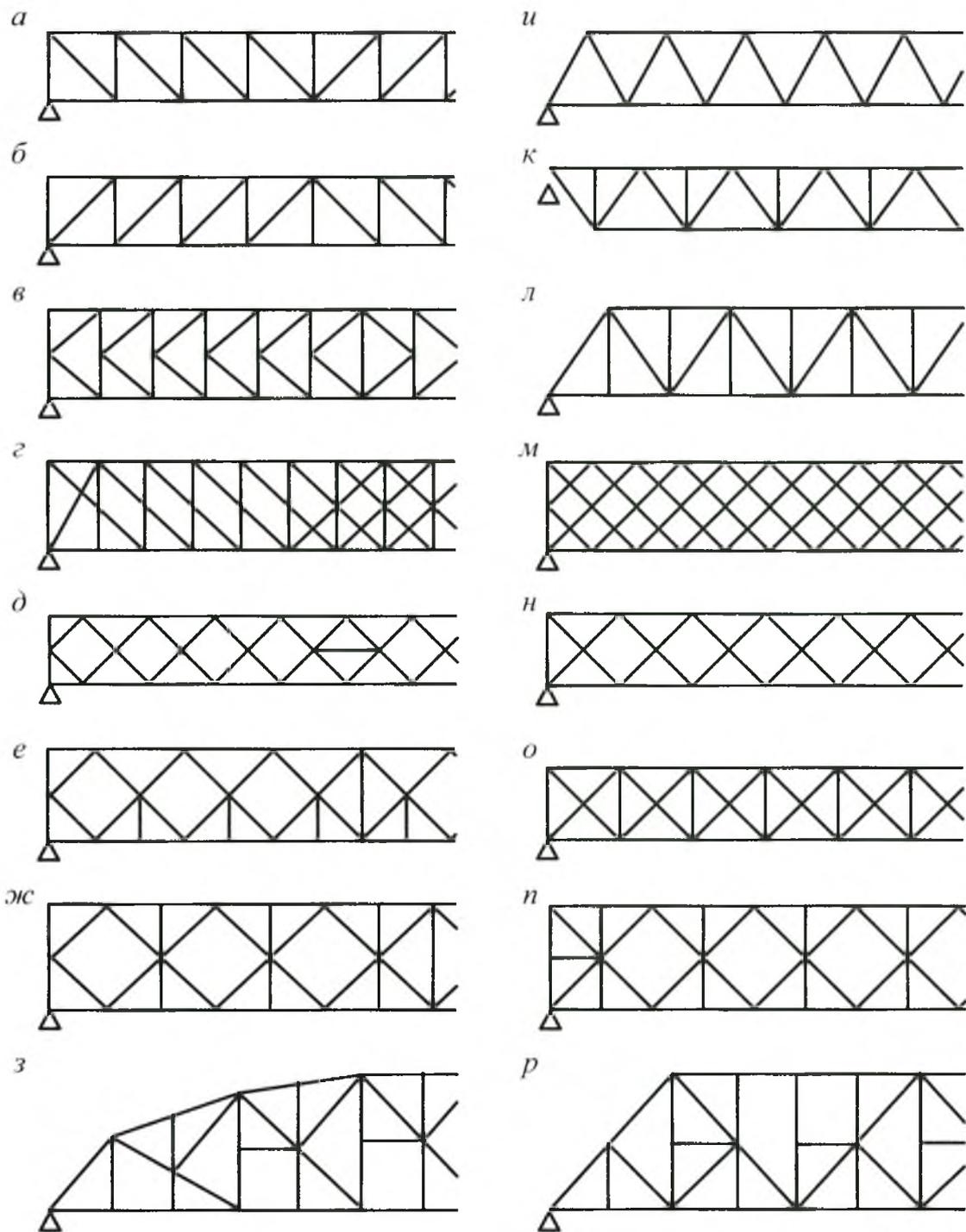


Рис. 7.23. Схемы решеток ферм:

a, б — фермы с раскосными решетками; *в* — полураскосная решетка; *г* — многораскосная решетка; *д, е, жс* — 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 продолжают 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° . При

значительном отклонении угла наклона от 45° 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.

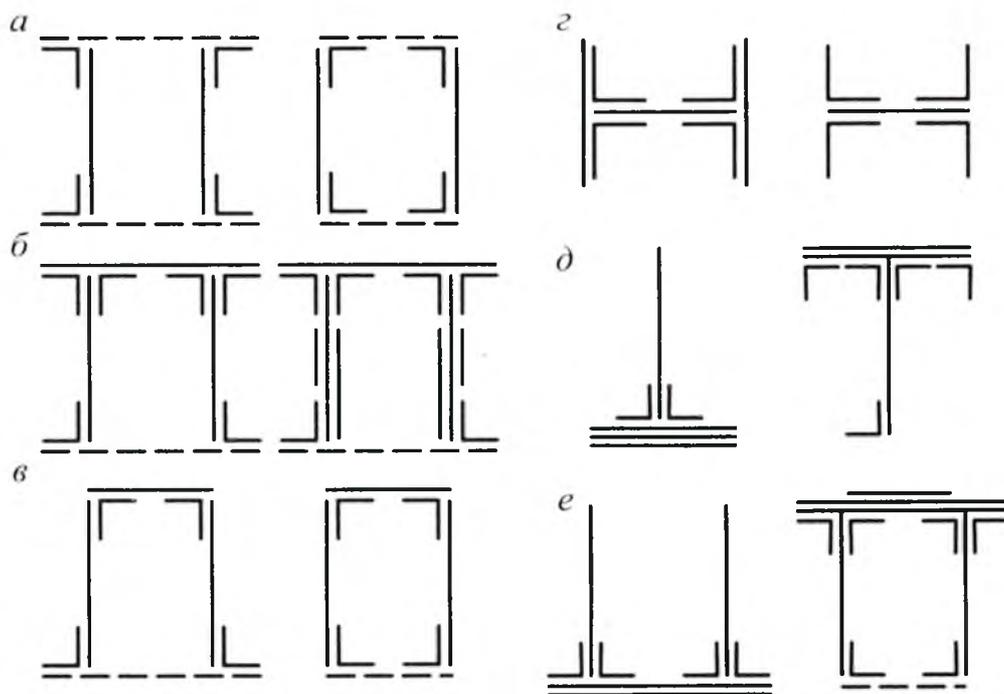


Рис. 7.24. Сечение поясов сквозных ферм:

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.

Размеры сечения элементов назначаются в соответствии с действующими усилиями, маркой стали, требовани-

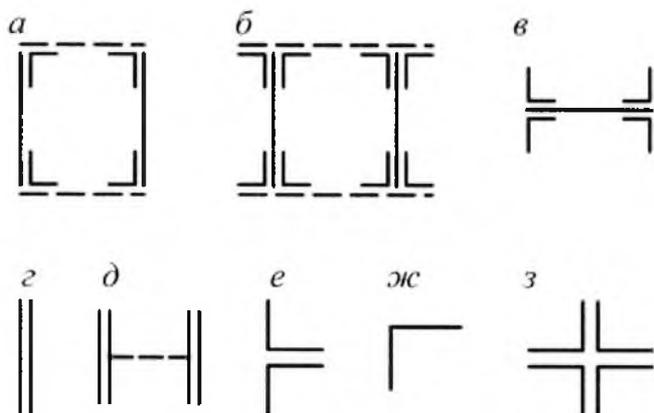


Рис. 7.25. Сечение решетки ферм:

a, б — швеллерные; *в* — двутавровое; *г, д* — плоские; *е, ж, з* — уголковые

ями технологии изготовления, монтажа и эксплуатации. Высота сечения элементов принимается не более 1/15 их длин. Все элементы должны иметь одинаковую ширину для простоты соединения их в узлах.

Внутренние размеры коробчатых сечений должны быть не менее 440×460 мм для возможности прохода двухдугового сварочного аппарата. Толщина вертикальных листов из углеродистой стали должна быть не более 50 мм, а из низколегированной — не более 40 мм. Горизонтальные листы должны иметь толщину не менее 10 мм.

Узлы главных ферм представляют собой соединения концов элементов, оси которых сходятся в одной точке — центре узла (рис. 7.26). К узлам ферм прикрепляются поперечные балки и элементы связей. Концы элементов ферм соединяются при помощи фасонных листов: фасонки-накладок, фасонки-вставок, фасонки-приставок. Фасонки должны быть простой формы, минимальных размеров и толщиной не менее 12 мм. Для снижения трудоемкости и повышения качества работ форма

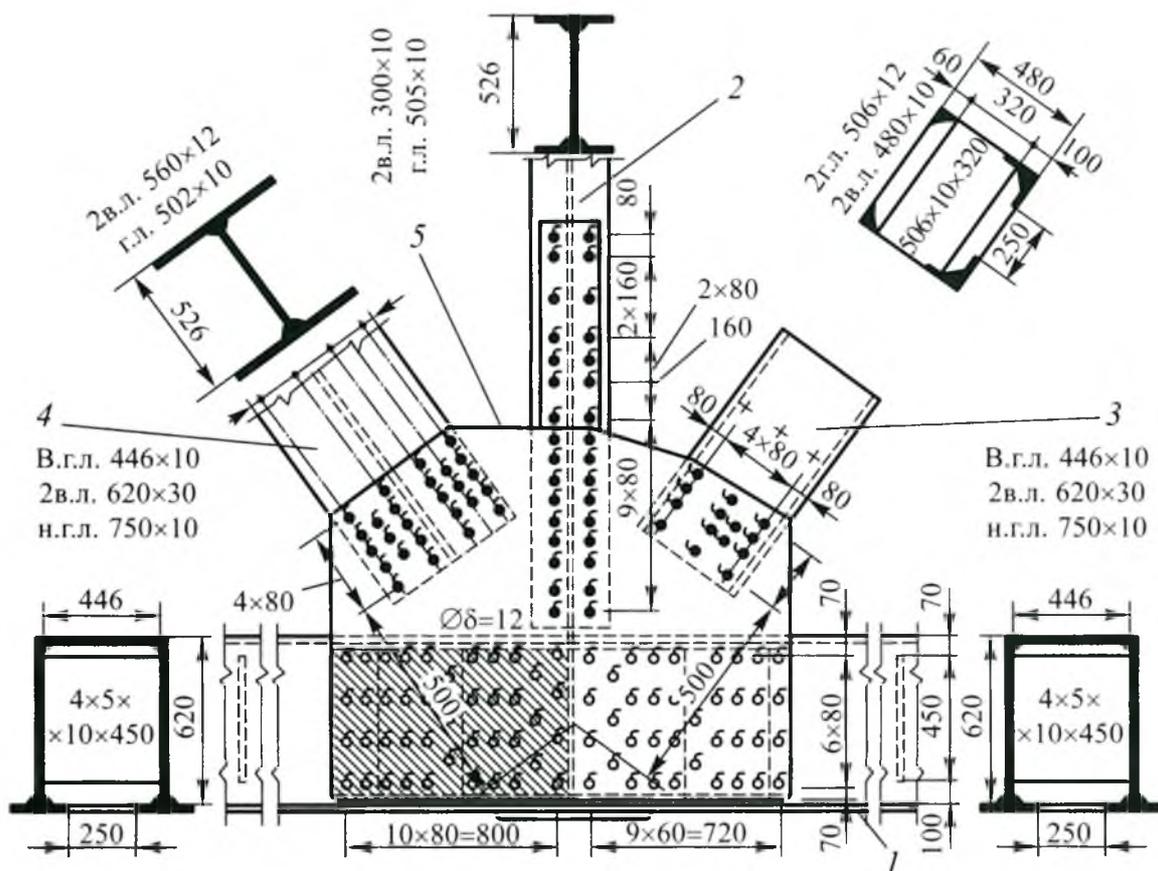


Рис. 7.26. Конструкция узла ферм на высокопрочных болтах:
 1 — нижний пояс фермы П-образного сечения; 2 — стойка двутаврового сечения; 3 — раскос коробчатого сечения; 4 — раскос двутаврового сечения;
 5 — фасонка

и размеры узловых фасонных листов и стыковых накладок, а также расположение отверстий для монтажных болтов унифицируются, что дает возможность обеспечивать высокую точность сборки и взаимозаменяемость 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.

7.8. Мостовое полотно на капитальных мостах

На металлических железнодорожных мостах мостовое полотно может быть следующих видов:

- на балласте (рис. 7.27, в);
- на мостовых деревянных брусках (поперечинах) (рис. 7.27, а, б);
- на стальной ребристой плите;

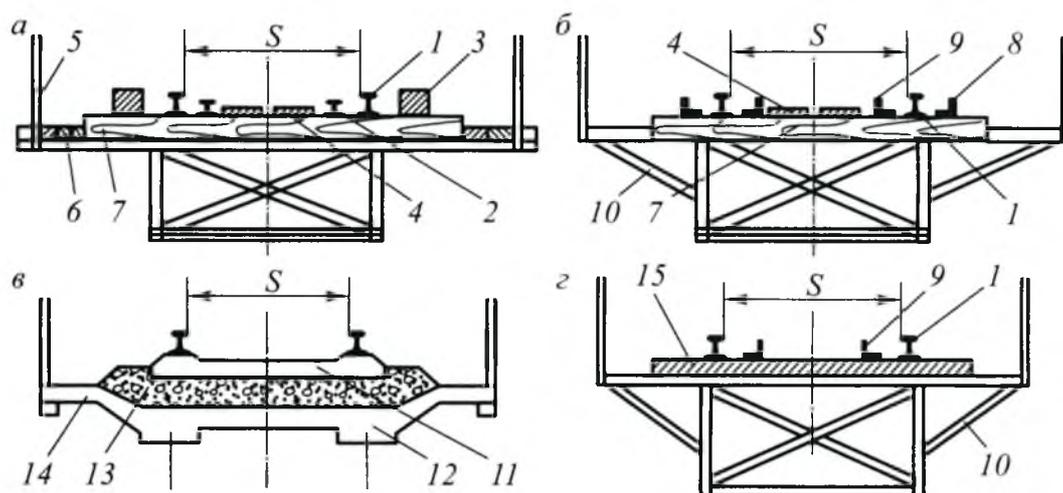


Рис. 7.27. Конструкция мостового полотна на балласте:

а — рельсовый путь на мостовых брусках; *б* — рельсовый путь на мостовых брусках; *в* — рельсовый путь на балласте; *г* — рельсовый путь на железобетонных плитах; 1 — путевой рельс; 2 — контррельс; 3 — охранный брус; 4 — доски настила; 5 — перила; 6 — настил тротуара; 7 — мостовой брус; 8 — охранный уголок; 9 — контруголок; 10 — кронштейн тротуара; 11 — железобетонная шпала; 12 — балластное корыто; 13 — балластный слой; 14 — консоль тротуара; 15 — железобетонная плита

- на металлических поперечинах;
- на сплошном бетонном основании (железобетонная плита без балласта) (рис. 7.27, *г*).

Мостовое полотно с ездой на балласте состоит из путевых рельсов, контруголоков, шпал, балласта и железобетонной плиты с бортиками (балластное корыто), тротуарами и металлическими перилами. Преимуществом мостового полотна с ездой на балласте является однородность пути на мосту и подходах, которая создает более благоприятные условия для движения поездов, упрощает содержание и ремонт пути. Недостатком такой конструкции является значительный собственный вес, возможность увеличения толщины балластного слоя и смещения оси пути относительно оси пролетного строения, сложность устройства и ремонта гидроизоляции и водоотвода, возможность образования льда в балласте.

На мостах, где путь уложен на балласте, конструкция мостового полотна ничем не отличается от конструкции пути на перегонах, если длина моста не более 25 м.

Путь на мостовых деревянных брусках. Мостовые бруска изготавливают из сосны или лиственницы стандартных размеров, для удлинения

срока их службы они антисептируются. Сечения мостовых брусьев назначаются в зависимости от расстояния между осями балок (ферм):

- при расстоянии между осями до 2 м укладываются брусья сечением 20×24 см (с контррельсами или контруголками);
- при расстоянии между осями от 2 до 2,2 м — сечением 22×26 см (с контррельсами) и 20×24 (с контруголками);
- при расстоянии от 2,2 до 2,3 м — сечением 22×28 см (с контррельсами);
- при расстоянии от 2,3 до 2,5 м — сечением 24×30 (с контррельсами) и 22×28 см (с контруголками).

В настоящее время вместо деревянных брусьев сечением 22×28 и 24×30 см укладываются металлические поперечины.

Брусья плотно прирубаются к поясам продольных балок (ферм). Каждый брус прикрепляется к поясам балок (ферм) лапчатыми болтами. Применяются брусья длиной 3,2 м. Тротуарный настил располагается на металлических консолях, прикрепленных к продольным или главным балкам. При отсутствии консолей доски тротуарного настила укладываются на поперечинах длиной 4,2 м.

Мостовые брусья укладываются по эюре строго по наугольнику с нормальным расстоянием в свету между брусьями не более 15 см и не менее 10 см. Во всех случаях расстояние между осями мостовых брусьев должно быть не более 55 см. При большем расстоянии для предупреждения провала колес сошедшего с рельсов поезда на верхних поясах поперечных балок устраиваются переходные столики. Путевые рельсы на мостах длиной более 300 м укладываются типа Р65 длиной 25 м на остальных мостах — такие же, как на перегоне. Для обеспечения плавного прохода подвижного состава в каждом пролете делается соответствующий подъем рельсового пути, стрела подъема принимается равной 1/2000 пролета. С целью равномерной (без перегрузок) работы пролетного строения под поездами ось пути должна совмещаться с осью пролетного строения. Величина отклонения между осями принимается не более 5 см на прямых участках пути и не более 3 см — в кривых.

Уравнительные приборы укладываются в рельсовом пути при длине участка между неподвижными опорными частями смежных пролетных строений, превышающей 100 м. В районах со значительными колебаниями температуры эти приборы предназначены для компенсации больших зазоров, образующихся в стыках рельсов при изменении длины ферм. Уравнительный прибор состоит из рамного и острякового рельсов,

прикрепляемых к металлической плите. На однопутных мостах уравни- тельные приборы укладываются над подвижным концом ферм остряком пошерстно в направлении преимущественного движения.

Контррельсы или контруголки располагаются внутри колеи параллель- но путевым рельсам (рис. 7.28). Они должны укладываться на мостах дли- ной более 25 м и на всех мостах, расположенных на кривых радиусом ме- нее 1000 м, для направления подвижного состава, сошедшего с рельсов перед мостом или на самом мосту. Контррельсы (контруголки) протяги- ваются до задней грани устоя, далее концы контррельсов сводятся вместе «челноком», «челнок» заканчивается башмаком или скосом концов кон- тррельсов (рис. 7.29). Контррельсы применяются на один тип легче путе- вых рельсов, лежащих на мосту, а контруголки — сечением не менее 160×160×16 мм. Расстояние до контррельсов и контруголков от внутрен- ней грани головки путевых рельсов Р50 принимается 220—240 мм, а для

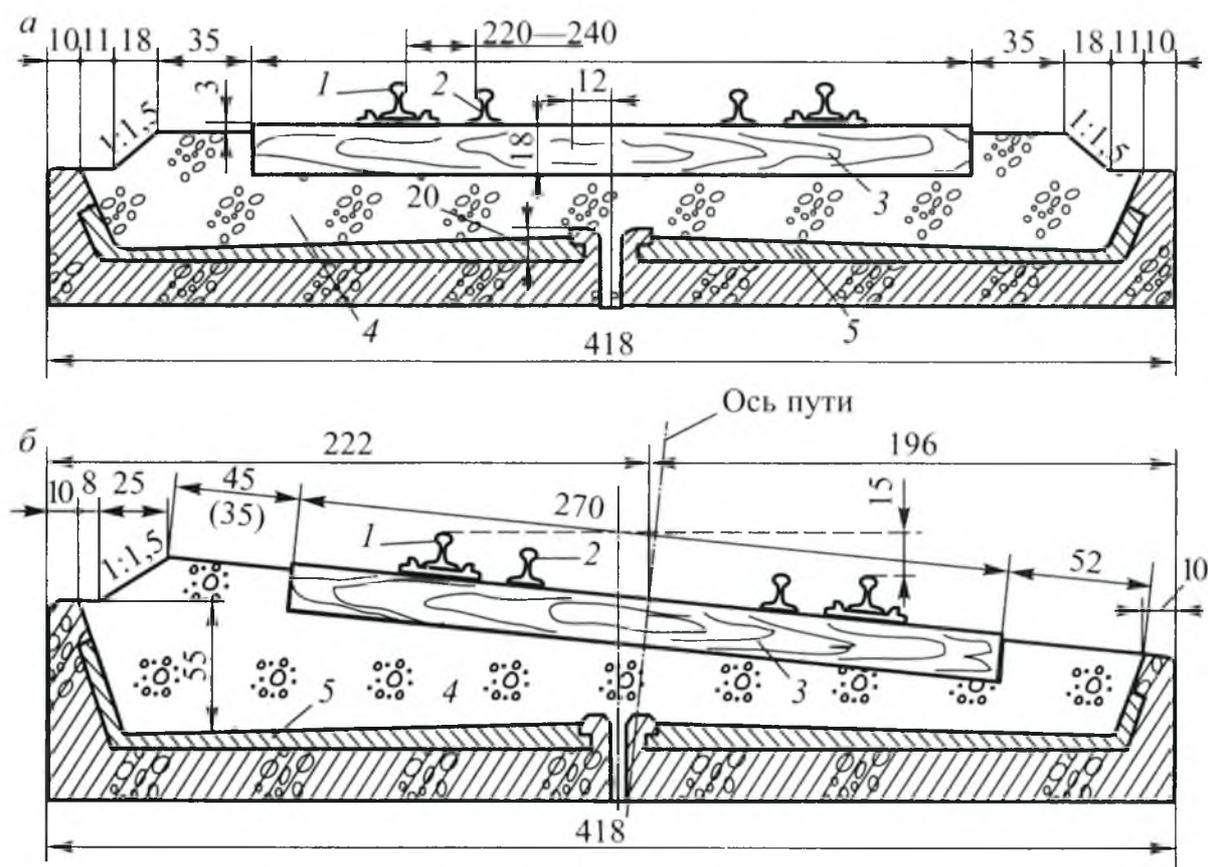


Рис. 7.28. Разновидности конструкций мостового полотна:
a — на прямом участке пути; *б* — на криволинейном участке пути;
1 — путевой рельс; *2* — охранные приспособления (контррельсы или контруголки); *3* — шпала; *4* — балластный слой; *5* — балластное корыто (размеры балластного корыта даны для эксплуатируемых мостов)

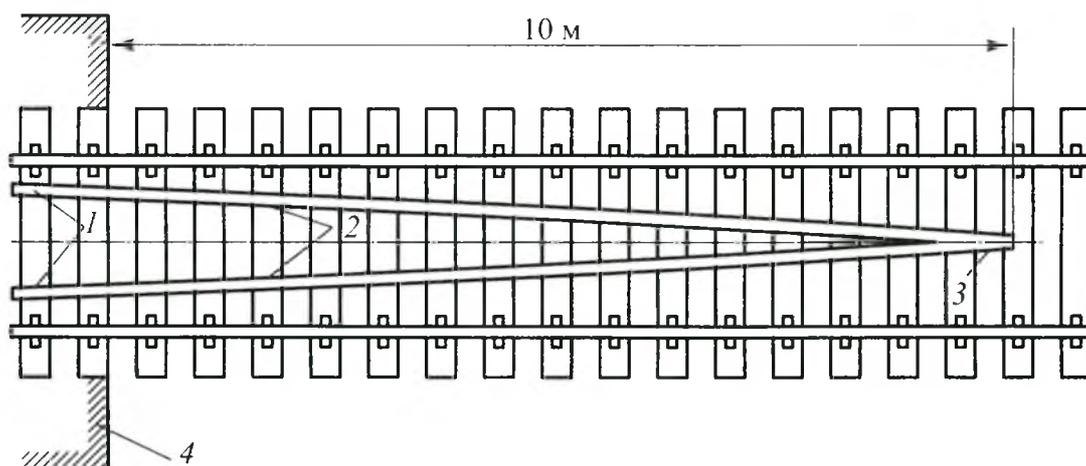


Рис. 7.29. Контррельсы на мосту и подходах:

1 — контррельсы (контруголки); 2 — челнок; 3 — башмак; 4 — задняя грань устоя

Р65 до контруголков — 310 мм. Для автоматического вкатывания колес на рельсы в случае схода подвижного состава служат специальные вкатыватели, укладываемые вместо челнока контруголков перед мостом.

Противоугонные (охранные) брусья сечением 15×20 см укладываются на всех мостах (кроме деревянных длиной до 5 м) на расстоянии не менее 300 мм и не более 400 мм от наружной грани путевого рельса. Противоугонные (охранные) брусья и охранные уголки служат для предупреждения продольного угона и выкантирования мостовых брусьев, а также для направления вдоль моста сошедшего с рельсов подвижного состава в случае повреждения контррельсов (контруголков). Мостовые брусья соединяются с противоугонными врубками глубиной 3 см. Противоугонный брус скрепляется с каждым мостовым брусом болтом. Охранные брусья стыкуются впритык между мостовыми брусьями. Противоугонные (охранные) уголки прикрепляются к каждому мостовому бруссу шурупами.

Тротуар и перила устраиваются на мостах длиной более 20 м или высотой более 5 м, на путепроводах и мостах, расположенных в пределах станций. Настил тротуаров состоит из четырех досок сечением 20×5, а настил внутри колеи — из 2 досок сечением 20×3 см. На боковых отдельных тротуарах вместо досок может быть уложен настил из сборных железобетонных плит.

Мостовое полотно с железобетонной безбалластной плитой состоит из путевых рельсов, контруголков, железобетонной плиты, тротуаров и перил. Железобетонная плита, как правило, не включена в совмест-

ную работу с продольными балками. Она состоит из блоков толщиной 16—24 см, шириной 4 м и длиной 3 м. Верхние и боковые поверхности плит покрыты гидроизоляцией, блоки укладываются на деревянные подкладки, расположенные примерно через 0,5 м. Толщина подкладок принимается не менее 4 см, блоки прикрепляются к поясам балок высокопрочными шпильками. Движение поездов можно открыть без подливки плит раствором. Плиты подливаются цементно-песчаным раствором в теплое время года в промежутках между поездами. Слой подливки армируется сетками. Для железобетонной плиты возможно применение полимербетона (время твердения 2—3 ч).

Мостовое полотно со стальной ребристой плитой устраивается при совместной работе балок проезжей части с поясами главных ферм. Стальной настил образует с продольными балками П-образную конструкцию и заменяет собой продольные связи между балками. Применение такого мостового полотна снижает массу проезжей части, но незначительно увеличивает расход стали. Мостовое полотно с ездой по стальной плите состоит из путевых рельсов, охранных контррельсов и контруголков, прикрепленных непосредственно к ортотропной плите. Тротуары с перилами устраиваются на консолях, прикрепленных к ребрам жесткости стенок балки. Применение такого мостового полотна обеспечивает уменьшение строительной высоты, простоту отвода воды, возможность механизированной очистки пути, меньшую интенсивность коррозии верхнего стального листа, доступность осмотра, простоту смены рельсов.

7.9. Разводные мосты

Разводные мосты бывают поворотные, раскрывающиеся и подъемные. Разводка пролетного строения для пропуска судов производится при помощи специальных механизмов, приводимых в действие электродвигателями.

В поворотных мостах пролетные строения вращаются вокруг вертикальной оси (рис. 7.30, а, б).

В раскрывающихся мостах пролетные строения поворачиваются вокруг горизонтальной оси (рис. 7.31). Раскрывающиеся мосты бывают однокрылые и двукрылые. Однокрылые раскрывающиеся мосты применяются для перекрытия сравнительно небольших судоходных отверстий. Недостатком двукрылых разводных мостов является большой прогиб в замковой части моста в закрытом положении, поэтому такие мосты применяются под автомобильную дорогу.

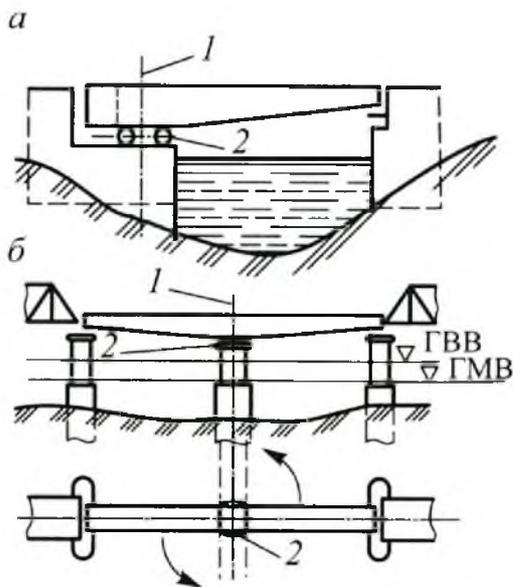


Рис. 7.30. Поворотные мосты:
а — однорукавный мост; *б* — двухрукавный мост; *1* — ось вращения пролета; *2* — центральный барабан

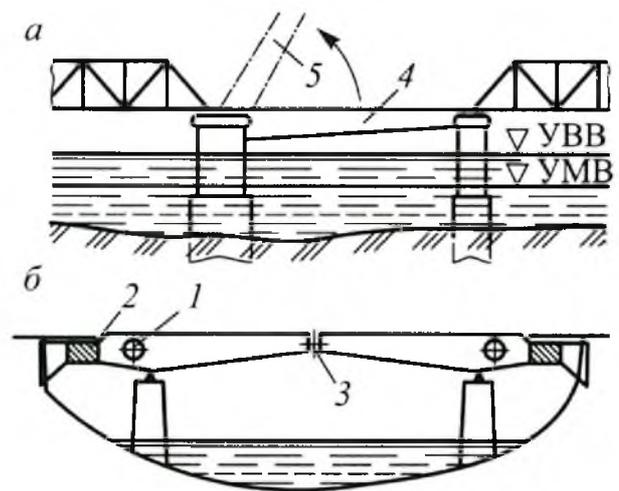


Рис. 7.31. Раскрывающиеся мосты:
а — однорукавный мост; *б* — двухрукавный мост; *1* — ось вращения; *2* — противовес; *3* — замок; *4* — мост в закрытом положении; *5* — открытое положение пролета

В подъемных мостах пролетное строение поднимается в вертикальном направлении параллельно самому себе (рис. 7.32). Необходимую принадлежность таких мостов составляют башни, на которых подвешивается пролетное строение и уравнивающие его противовесы. Башня представляет собой металлическую или железобетонную конструкцию, устанавливаемую на опоры или по концам соседних пролетных строений.

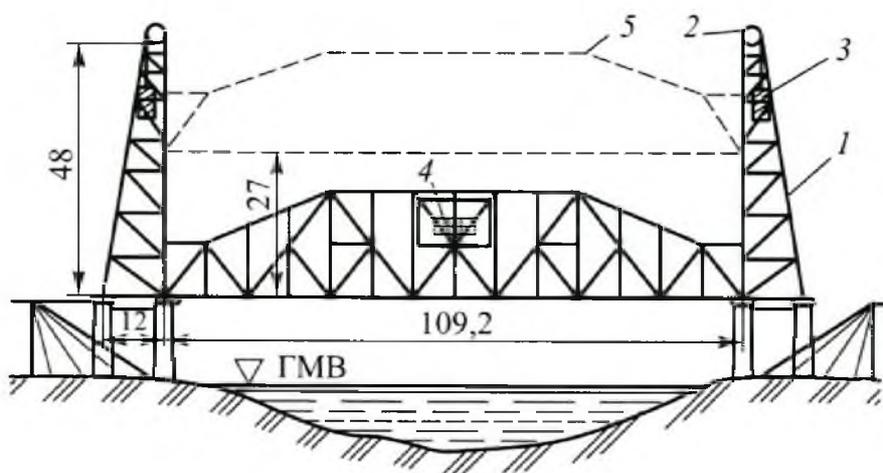


Рис. 7.32. Схема моста с подъемным пролетом:
1 — башня; *2* — шкив; *3* — противовес; *4* — операторская; *5* — пролетное строение в верхнем положении

Глава 8 ДЕРЕВЯННЫЕ МОСТЫ

8.1. Общие сведения. Материал мостов

Дерево — естественный, широко распространенный строительный материал со сравнительно высокими прочностными характеристиками при небольшой плотности. Оно хорошо обрабатывается, что позволяет создавать из него различные типы строительных конструкций. Дерево как строительный материал для мостов используется давно.

В прошлом деревянные мосты были наиболее распространенными. В 1839 году начато строительство Варшаво-Венской железной дороги, а в 1843 г. — Петербургско-Московской, ныне Октябрьской железной дороги. Все мосты на этих дорогах, за небольшим исключением, были деревянные. Особенно значительных размеров достигали мосты железной дороги Петербург-Москва, которые были со сквозными деревянными фермами больших пролетов. Тип этих ферм был предложен еще И.П. Кулибиным. В 1820—1840-х гг. в США были предложены балочные системы с пролетными строениями в виде «ферм Таунс и Гау».

Теоретическому исследованию и практическому применению этих систем посвятил начало своей деятельности крупнейший русский инженер Д.И. Журавский (1821—1891). За отсутствием каких-либо методов расчета подобных систем Журавский предложил свой оригинальный способ. Одновременно ему пришлось провести огромную работу по исследованию сопротивления дерева сжатию, растяжению, скалыванию, смятию, конструируя сложные испытательные машины. Он впервые установил и объяснил явление косоугольного изгиба, дал точные расчеты касательных напряжений и работы шпонок. Даже теперь безмерно удивляет то, что один человек мог проделать такую огромную работу по исследованию строительных свойств дерева. Его многораскосные неразрезные фермы были сооружены на дороге Петербург-Москва, на Военно-Грузинской дороге через Дарьяльское ущелье. Предложенные им башен-

ные опоры высотой до 50 м считались рекордными в мире и стали образцами, оказавшими влияние на формы первых башенных опор из металла.

Выбор системы и конструкции деревянного моста зависит от величины пролетов, вертикальной планировки строительной высоты, расчетной временной нагрузки, а также от местных условий (рис. 8.1).

При пересечении небольших рек и оврагов и при устройстве путепроводов применяется простая балочная система. Простейшей балочной системой могут быть перекрыты пролеты от 8 до 10 м, а при применении составных или клееных балок от 16 до 24 м. В однопролетных балочных мостах обычно пролеты составляют от 4 до 6 м; при меньших пролетах целесообразно устраивать железобетонные трубы. Подкосные системы мостов широко применялись для пролетов от 8—10 до 20 м. Строительство таких мостов требует высококвалифицированных плотничных работ. Для перекрытия пролетов от 16—20 до 40—50 м применяются балочные пролетные строения с решетчатыми фермами различных видов. Наиболее часто такие пролеты перекрываются пролетными фермами Гау—Журавского из круглого леса или реже из брусьев со стойками в виде металлических тяжей. Для большей надежности и увеличения срока службы как нижний пояс, так и верхний могут быть изготовлены металлическими. Фермы Гау—Журавского можно монтировать из

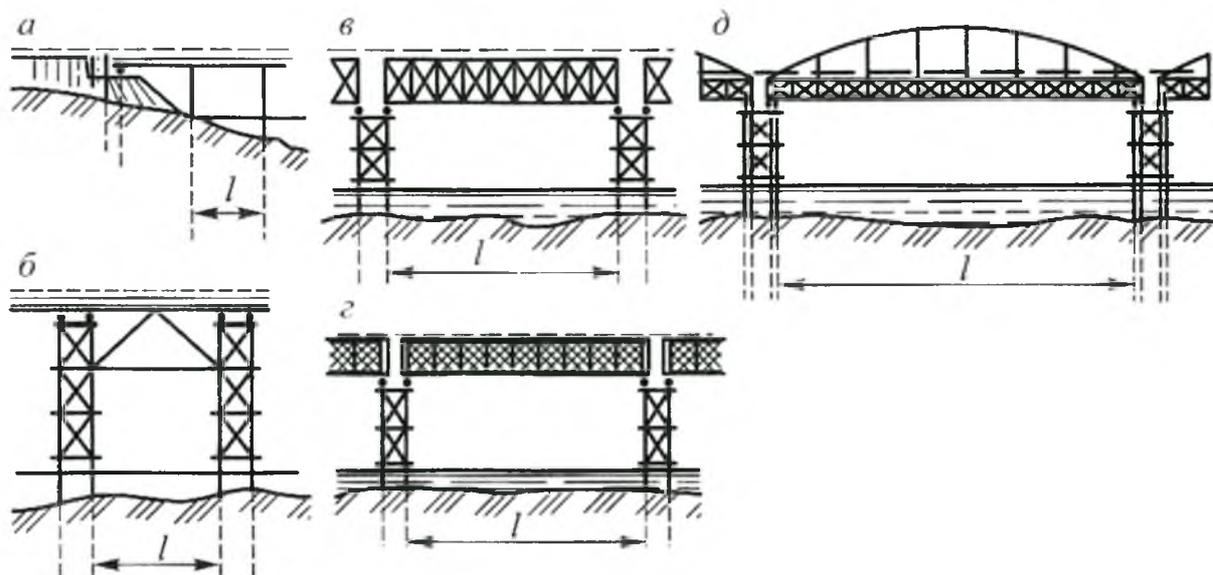


Рис. 8.1. Различные виды деревянных пролетных строений:
a — простая балочная система; *б* — подкосная система; *в* — ферма Гау—Журавского; *з* — дощатая ферма на гвоздевых соединениях;
д — комбинированная система — решетчатая ферма; *l* — расчетный пролет

блоков заводского изготовления. Применяются также мосты с дощатыми фермами на гвоздевых соединениях.

Деревянные мосты обладают рядом достоинств, к которым относятся: простота заготовки и обработки древесины, возможность использования для постройки местных лесных материалов, быстрота постройки, малая строительная стоимость. К недостаткам деревянных мостов относятся: низкая долговечность в связи с возможностью загнивания древесины, изменение объема при усушке, что приводит к расстройству соединений, возгораемость. Деревянные мосты, не защищенные от загнивания, рассматриваются как временные со сроком службы около 10 лет.

Продолжительность срока службы деревянных мостов может быть значительно увеличена (до 30—50 лет) путем повышения качества изготовления конструкций, защиты древесины от гниения и улучшения текущего содержания моста. Разработаны эффективные способы защиты древесины от гниения и возгорания. В результате обработки древесины с использованием синтетических смол получают практически новые строительные материалы (бакелизованная фанера, древесные слоистые пластики), которые имеют по сравнению с древесиной более высокие прочностные характеристики, повышенную долговечность, высокую стойкость против атмосферных воздействий и др. Это дает возможность использовать дерево для долговременных сооружений, в том числе и для мостов. Применение атмосферостойких, водостойких и биостойких синтетических клеев — фенольных, резорциновых и фенольно-резорциновых, обеспечивающих прочное долговечное соединение элементов, дает возможность создавать простые и надежные клееные мостовые конструкции. Для склеивания древесины с металлом используются эпоксидные клеи.

Быстрота сооружения деревянных мостов дает возможность эффективно применять их при строительстве железных и автомобильных дорог в отдаленных лесных районах, что позволяет снизить строительную стоимость и повысить темпы строительства.

Временные деревянные мосты используют при восстановлении железных дорог, на временных обходах на период строительства или реконструкции постоянного моста, на подъездных путях.

Деревянные мосты, применяемые в качестве постоянных долгосрочных сооружений, надежно защищают от гниения (антисептированием) и от возгорания. Мосты должны иметь необходимый резерв грузоподъемности с учетом роста нагрузок.

Конструкции деревянных мостов должны удовлетворять промышленным способам их изготовления и сооружения. Для деревянных мостов под железную дорогу применяют хвойные и лиственные породы деревьев. Лучшими породами для изготовления основных элементов считаются сосна и лиственница; ель и пихта применяются в отдельных случаях при соответствующем обосновании. Дуб, ясень, бук и граб используются для ответственных мелких деталей и соединений. Элементы моста изготавливаются из бревен или пиломатериалов. Бревна более долговечны благодаря наиболее прочным и устойчивым от загнивания наружным слоям. Но бревна имеют естественную конусность, что затрудняет использование их для промышленных способов изготовления мостовых конструкций.

В современных мостах промышленного изготовления применяется пиленый лес, обработанный антисептиками. Все материалы для мостов должны удовлетворять требованиям ГОСТов. Влажность древесины к моменту ее использования должна быть: 25 % для бревен, 20 % для пиломатериалов, 15 % для деталей соединений, для клееных конструкций — 12 %. Для элементов, расположенных ниже уровня меженных вод, и свай влажность не ограничивается. Для изготовления конструкций деревянных мостов используется круглый и пиленый лес различных сечений и размеров. Круглые стволы деревьев диаметром не менее 14 см в верхнем отрубе, очищенные от сучьев и коры, называются бревнами. Установлена стандартная длина бревен от 3 м до 7,5 м с градацией в 0,25 м. Бревна, отесанные на два канта, называются лежнями, а распиленные на две половины вдоль оси ствола — пластинами. Тонкий круглый лес толщиной от 8 до 15 см называется жердями.

Пиленый лес делится на два вида: брусья и доски. Брусья в поперечном сечении имеют квадратную или прямоугольную форму. К строительным брусьям относятся пиломатериалы, имеющие ширину и толщину более 10 см. Длина брусьев колеблется от 6,5 до 9,5 м с градацией по 0,25 м. Доской считается пиломатериал, у которого ширина превосходит толщину в два и более раза. Доски делятся на короткие длиной от 2 до 3,25 м, средние — от 4 до 6,5 м и длинные — от 6,75 до 15 м. Толщина досок бывает от 13 до 60 мм, ширина от 8 до 25 см. В мостах наиболее употребительны доски толщиной от 2,5 до 4 см.

Для свай деревянных мостов используются бревна диаметром от 22 до 32 см, длиной 6,5 и 8,5 м, а также длиной 10—16 м с градацией через 1 м.

Для других элементов, кроме свай, наименьший диаметр круглых бревен равен 20 см применение пиленого леса уменьшает затраты на обработку древесины и облегчает производство работ. Для элементов деревянных мостов (кроме перил и охранных брусьев) наименьшие размеры поперечных сечений составляют 18×18, а для связей — 10×10 см.

Защита древесины от гниения. Древесные гнили и окраски (синева, краснина и др.) вызываются различными грибами — от безвредных (плесени) до сильных разрушителей древесины. Грибок состоит из тонких (0,004 мм) нитей (гифов). Большинство грибов развиваются при влажности от 22 до 60 %, при меньшей влажности грибки не развиваются. При высокой влажности (под водой) древесина не гниет, так как жизнедеятельность грибов прекращается от недостатка кислорода. Температура ниже 0 °С приостанавливает рост грибов, но не убивает их; температура выше 60 С губительна для большинства грибов. Грибки развиваются при температуре от +3 до +44 °С, наиболее интенсивное гниение наблюдается при температуре от + 18 до +30 °С. Жаркий и сухой, а также холодный климат не благоприятствуют развитию дереворазрушающих грибов. Для предохранения элементов деревянных мостов от загнивания и удлинения сроков их службы производится антисептическая обработка древесины, которая выполняется способом глубокой пропитки или диффузионным способом.

Глубокая пропитка древесины применяется при строительстве новых деревянных мостов. Она производится под давлением в заводских условиях при массовом изготовлении деревянных мостовых конструкций. Для глубокой пропитки употребляют маслянистые антисептики: креозотовое масло в чистом виде или в смеси с мазутом, антраценовое масло и др.

При диффузионном способе деревянные части моста на месте строительства покрывают антисептической пастой. Наиболее употребительной пастой является технический фтористый натрий, приготовленный на битумной клеевой основе.

8.2. Основные системы деревянных мостов

Выбор системы моста, его конструкция зависят от конкретных условий, главные из которых: сооружаемый пролет, высота моста, расчетная нагрузка, характер пересекаемого препятствия, срок службы. Наиболее широко распространены деревянные мосты балочной системы.

При небольших пролетах применяют простые балочные мосты. Для увеличения пролета между опорами и уменьшения количества опор

используют различные подкосные системы. Такие мосты бывают: одноподкосными или двухподкосными. Пролеты от 15 до 40 м под железную дорогу и до 50 м под автомобильную перекрывают деревянными пролетными строениями с фермами Гау—Журавского. Система двухраскосной фермы для деревянных мостов была предложена в 40-х гг. XIX в. американским инженером Гау. В этой ферме все элементы, за исключением подвесок, состоят из деревянных брусьев, подвески — из стальных тяжей. Выдающийся русский инженер и ученый Д.И. Журавский разработал метод расчета этих ферм и внес ряд существенных изменений в их конструкцию. Ферма получила наименование ферма Гау—Журавского. Эти фермы широко применялись до 30-х гг. XX в. и во время Великой Отечественной войны.

Конструкция деревянных мостов. Деревянный балочный мост состоит из мостового полотна, деревянных прогонов и опор. Железнодорожные мосты с деревянными прогонами имеют пролеты 2—3 м, автодорожные — 5—10 м (рис. 8.2, 8.3).

Прогоны, поддерживающие мостовое полотно и перекрывающие пролеты моста, состоят из круглых бревен, стесанных на два канта. Число бревен в прогоне зависит от величины пролета и расчетной нагрузки. Бревна в прогонах под каждой рельсовой нитью располагаются в один (при трех бревнах) или два (при четырех или шести бревнах) яруса.

Бревна прогонов стыкуются впритык, стыки располагаются вразбежку, для усиления места стыкования нижних прогонов применяются подбалки. Бревна прогонов стягиваются с подбалками болтами. С поперечинами и с насадкой прогоны соединяются врубками и болтами. Насадки служат для обеспечения равномерного опирания прогонов на опоры.

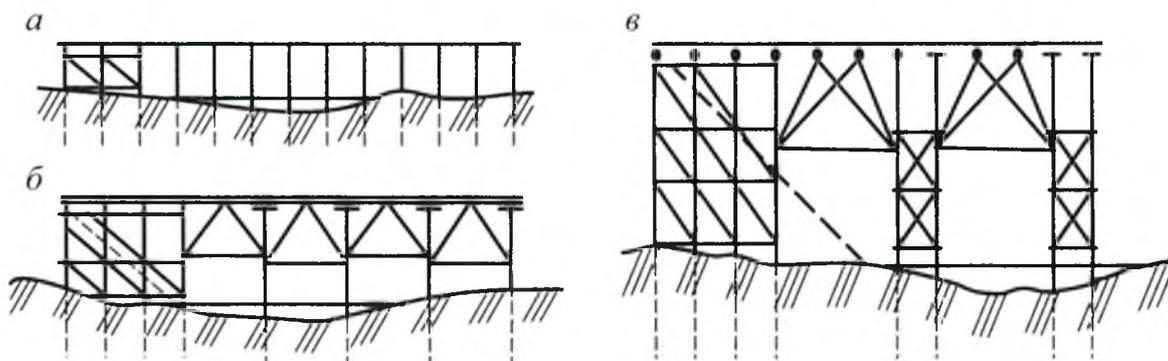


Рис. 8.2. Основные схемы деревянных мостов:

a — простая балочная система; *б* — двухпролетный мост; *в* — одноподкосный мост

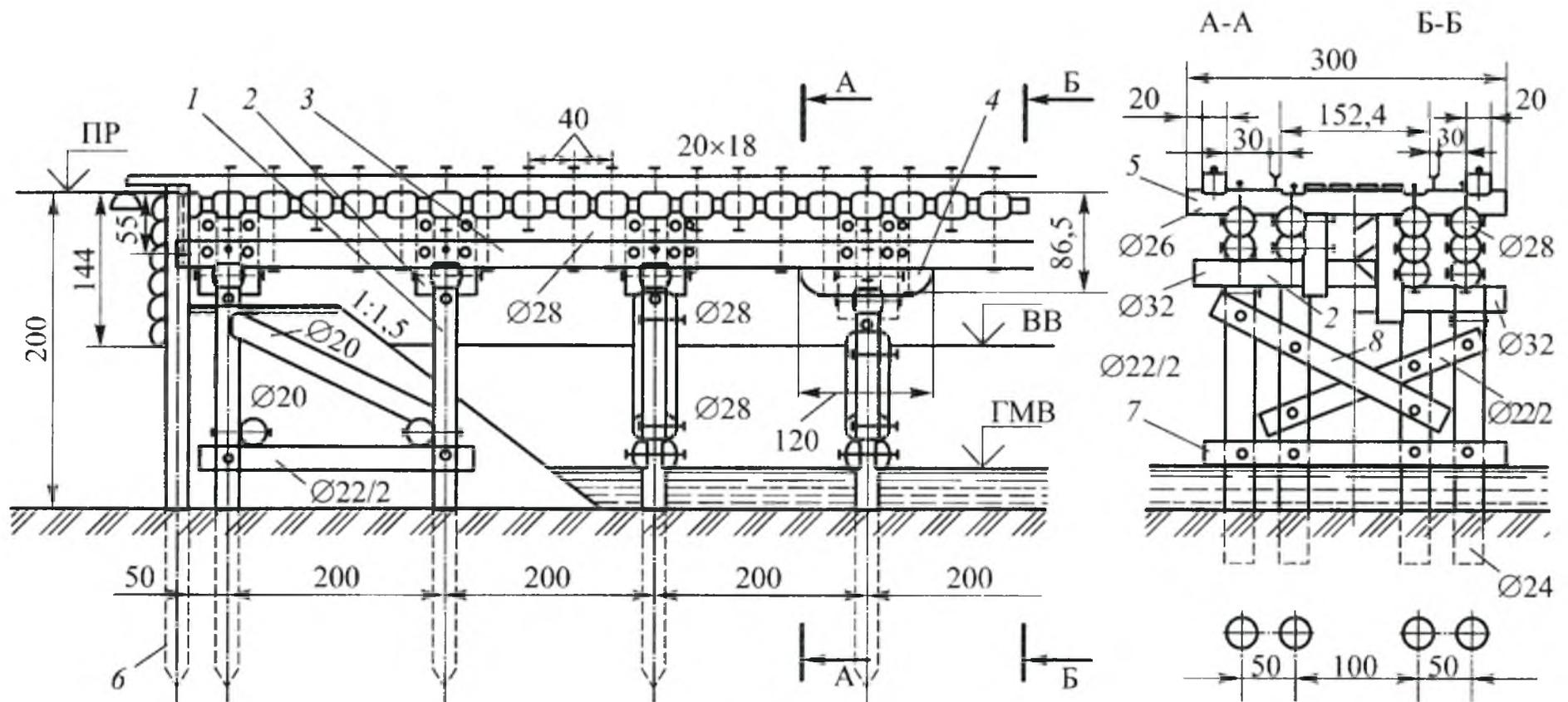


Рис. 8.3. Конструкция балочного моста из круглого леса:

1 — сваи; 2 — насадки; 3 — прогоны; 4 — подбалка; 5 — поперечины;
 6 — закладной щит; 7 — горизонтальная схватка; 8 — диагональная схватка; ПР — отметка подошвы рельса

Сопряжение насадки со сваями осуществляется металлическими штырями диаметром 22—25 мм, забиваемыми через насадку в торец сваи; крайние сваи стягиваются с насадкой болтами.

На прогоны укладываются поперечины, к которым крепятся рабочие рельсы и охранные приспособления. Для поддержания балластной призмы и части насыпи от обрушения и предотвращения соприкосновения концов прогонов и насадки с грунтом насыпи устраивается закладной щит из пластин или бревен, который поддерживается сваями длиной около 4 м, забиваемыми в тело насыпи и грунт. Для предохранения прогонов от загнивания расстояние между щитом и концами прогонов должно быть около 10 см. Конус насыпи до закладного щита укрепляется каменным мощением или одерновкой.

8.3. Опоры деревянных мостов. Ледорезы

В балочных мостах под железную дорогу при пролетах до 3 м промежуточные опоры состоят из одного поперечного ряда свай (рис. 8.4). Средние четыре сваи называются коренными, так как они поддерживают прогоны и передают вертикальные нагрузки на грунт. Две боковые сваи называются откосными сваями. Наклонный элемент, одним концом упирающийся в откосную сваю, а вторым концом в коренную сваю, называется укосиной, упирание укосины в насадку не допускается. Укосины вместе с откосными сваями служат для

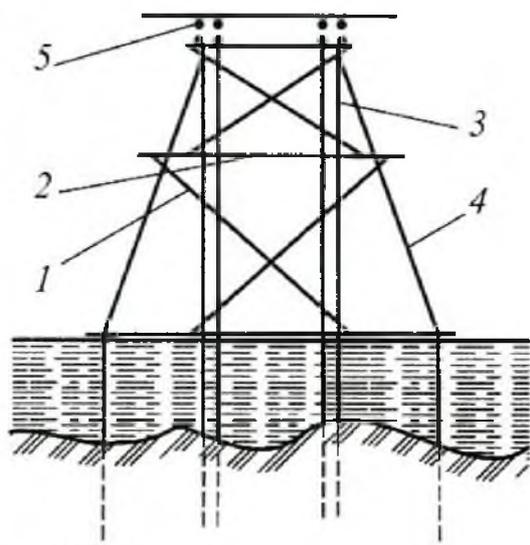


Рис. 8.4. Схема промежуточной опоры балочного деревянного моста:

1 — укосина; 2 — горизонтальная схватка; 3 — коренные сваи; 4 — откосная свая; 5 — прогоны

придания опоре поперечной жесткости. Для этой же цели могут служить наклонные сваи. Сваи и укосины соединяются поперечными связями в виде горизонтальных и наклонных схваток. Опоры с наклонными сваями имеют преимущества перед опорами с укосинами. Наклонные сваи повышают боковую жесткость и воспринимают вертикальную нагрузку, поэтому число свай в опоре с наклонными сваями меньше, чем в опоре с укосинами. Но забивка наклонных свай сложнее, чем вертикальных. Диаметр и глубина забивки свай определяется расчетом, но при всех обстоятельствах глубина забивки не должна быть менее 4 м.

Устои служат для сопряжения моста с насыпью и состоят из поперечных рядов свай, соединенных в продольном направлении прогонами, горизонтальными схватками и подкосами. Поперечная жесткость устоя обеспечивается заделкой коренных свай в фунте конуса насыпи. Так как устои, кроме вертикальной нагрузки, воспринимают горизонтальное давление насыпи, подкосам придается восходящее направление в сторону насыпи; при высоте насыпи более 4 м добавляются подкосы обратного направления.

Конструкция деревянных опор зависит от размеров, устанавливаемых на них пролетных строений и местных условий. Наибольшее распространение получили рамно-свайные опоры, рамно-лежневые опоры, ряжевые опоры, клеточные опоры.

Рамно-свайные опоры состоят из свайного основания и рамной надстройки, опирающейся на насадки свай (рис. 8.5). Рамная надстройка состоит из четырех рам, расположенных поперек оси моста. Все рамы соединены горизонтальными и диагональными схватками. В подводной части для устойчивости опоры при глубине русла более 3 м сваи соединяются металлическими тяжами.

Рамно-лежневые опоры. Рамно-свайные и рамно-лежневые опоры (рис. 8.6) имеют одинаковую конструкцию и различаются лишь основаниями. В первом случае рамы устанавливаются на сваи, во втором на лежни, укладываемые непосредственно на грунт или каменное основание. Лежнями могут служить бревна, отесанные на два канта, а также шпалы и

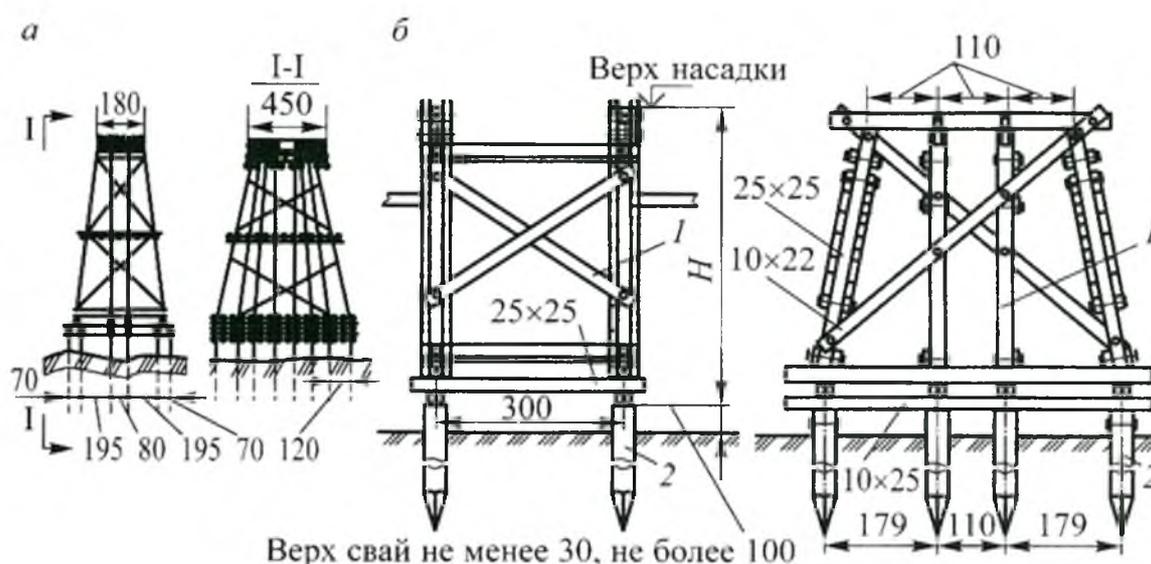


Рис. 8.5. Конструкция рамно-свайной опоры:

a — схема; *б* — конструкция; *1* — рамная надстройка; *2* — свайное основание;
H — высота рамной надстройки

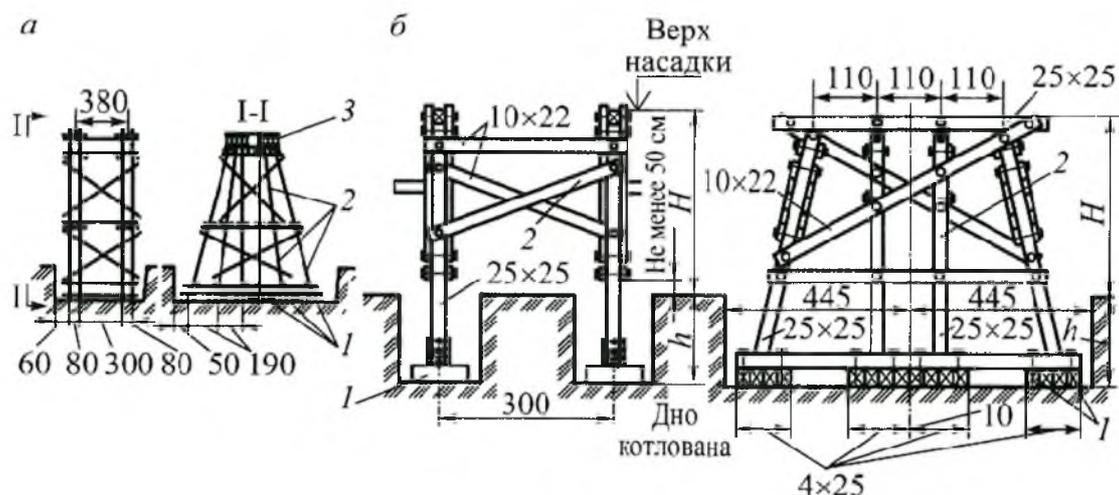


Рис. 8.6. Конструкция рамно-лежневой опоры:
a — схема; *б* — конструкция; 1 — лежни; 2 — рама; 3 — прогоны;
h — глубина котлована

брусья. Лежни соединяются с насадками скобами, число лежней определяется величиной вертикальной нагрузки и прочностью грунта.

При возведении рамно-свайных и рамно-лежневых опор применяются стандартные рамы одинаковой конструкции, но разной высоты — 2; 3; 4 и 5 м. Каждая стандартная рама состоит из двух вертикальных и двух наклонных стоек, верхней и нижней насадок, диагональных и горизонтальных схваток. Стойки соединяются с насадками при помощи металлических штырей и объемлющих хомутов. Из стандартных рам могут быть устроены опоры разной высоты под пролетные строения разных пролетов. Рамы собираются в стороне и устанавливаются в готовом виде.

Рамно-свайные и свайные опоры применяются тогда, когда грунт допускает забивку свай. В тех случаях, когда забивка свай по геологическим условиям невозможна, применяются рамно-лежневые опоры.

Ряжевые опоры (рис. 8.7) сооружаются на грунтах, не допускающих забивки свай (скальные, галечные с включением валунов и др.), в случаях срочности работ и при отсутствии копрового оборудования. Ряж представляет собой деревянный сруб из бревен или брусьев, имеющий стенки, днище и перегородки, разделяющие ряж на вертикальные отсеки. Ряж устанавливается на предварительно спланированное по его периметру дно реки и на всю высоту загружается камнем.

Каменное заполнение обеспечивает устойчивость ряжа. Ряжевым быкам с верхней и нижней стороны придается заостренная форма, чтобы уменьшить сопротивление течению воды и облегчить пропуск ледохо-

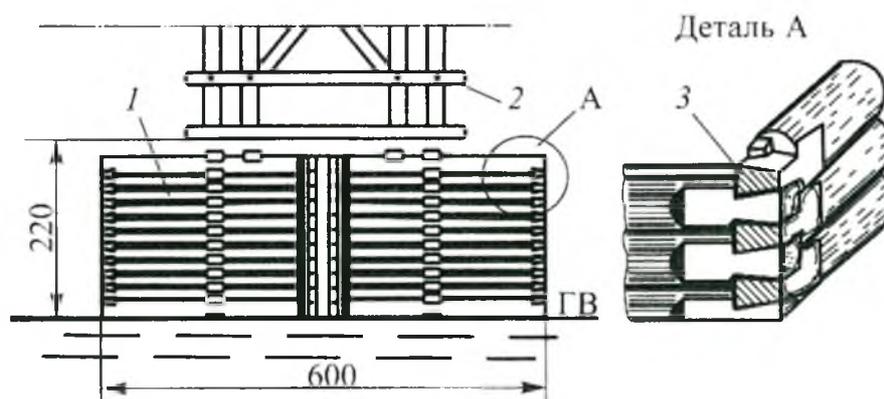


Рис. 8.7. Ряжевая опора:
1 — ряж; 2 — рамная опора; 3 — вырубка в лапу

да. Размеры ряжа в плане определяются допустимым давлением на грунт и условием устойчивости. Стены ряжей рубятся из бревен диаметром 22—26 см, днище ряжа делается из бревен, которые врубаются в стены ряжа между вторым и третьим венцом. На водотоках с сильным ледоходом заостренная часть ряжа с верховой стороны и боковые стенки обшиваются металлическими листами.

Клеточные опоры (рис. 8.8) применяются, как правило, в срочных и исключительных случаях. При сооружении клеточных опор шпалы укладываются горизонтальными рядами. Шпалы смежных рядов скрепляются между собой скобами по 1—2 штуки на каждую шпалу. При назначении высоты шпальной опоры следует учитывать ее осадку в период эксплуатации (около 2,5 см на 1 м высоты).

Число шпал в рядах принимается в зависимости от нагрузки, передающейся на опору, каждый последующий ряд укладывается перпендикулярно предыдущему. При удовлетворительных грунтах шпальные опоры возводятся непосредственно на грунте после

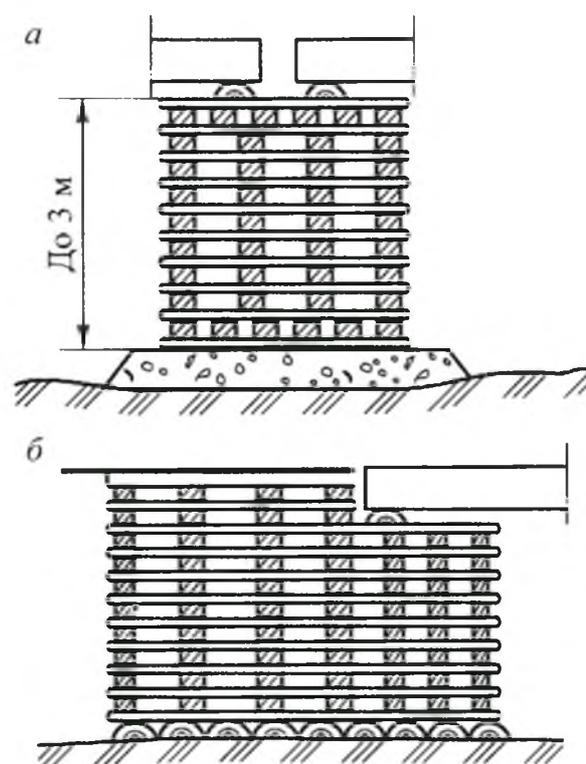


Рис. 8.8. Клеточные опоры:
а — бык; б — устои

планировки соответствующего участка. При слабых грунтах и в затопляемых местах под шпальную опору делается каменная подставка, а в незатопляемых местах — песчаная.

Ледорезы. Для защиты опор от ударов льда перед ними с верховой стороны реки устраивают ледорезы, которые разламывают большие льдины на мелкие части и направляют их в пролеты моста (рис. 8.9, а, б). Для предохранения опор и расположенных на них пролетных строений от сотрясения при ударе льдин ледорезы не соединяются с опорами, а располагаются перед каждой из них на расстоянии 1,5—4 м выше по течению.

На реках с особенно сильным ледоходом впереди моста на расстоянии 30—50 м ставится второй ряд ледорезов, называемых аванпостными, они принимают на себя удары больших ледяных полей и раскалывают их на части. Конструкция и основные размеры ледорезов назначаются в зависимости от силы ледохода, ширины защищаемых ледорезами опор и горизонтов ледохода. При средних ледоходах и узких (в один ряд свай) опорах

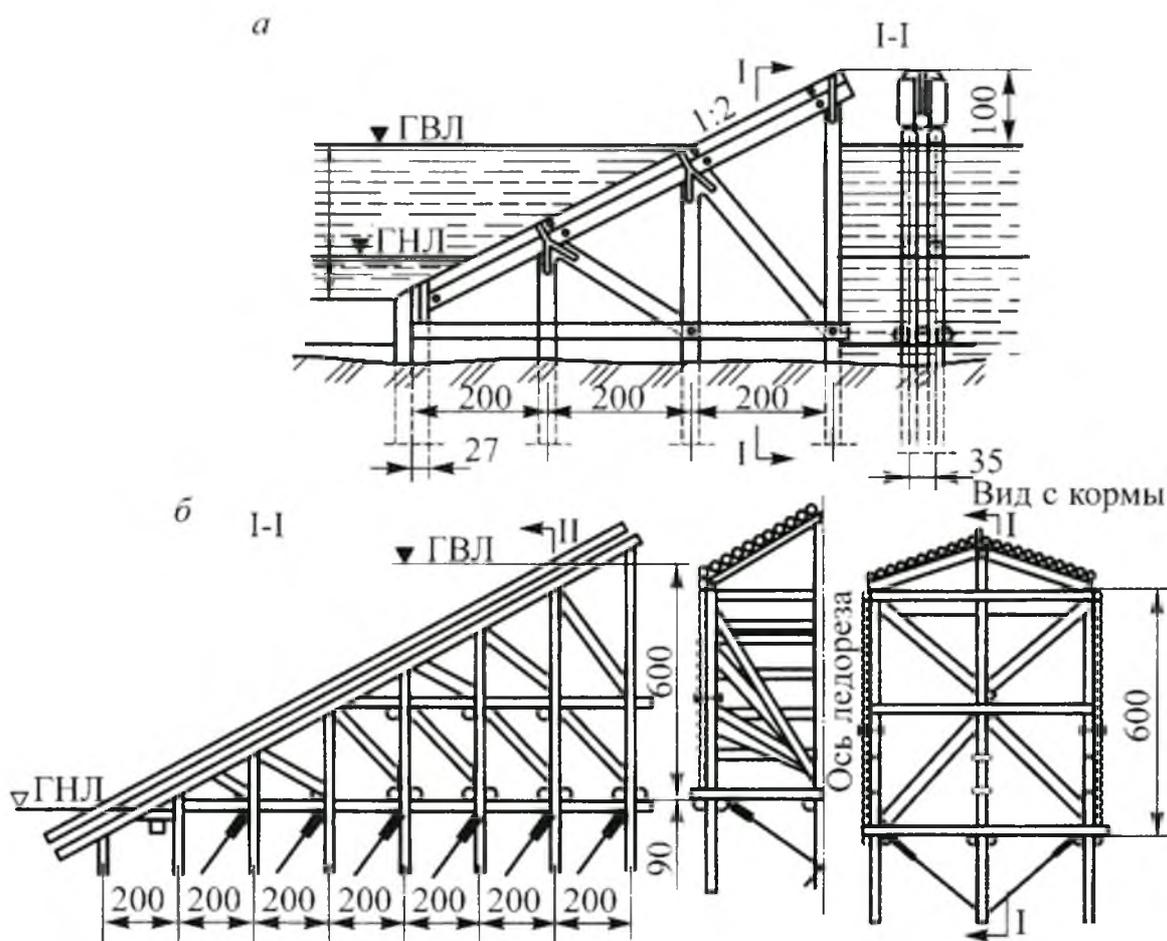


Рис. 8.9. Ледорезы:
а — плоский; б — шатровый

устраиваются плоские ледорезы, состоящие из одного-двух рядов свай с укрепленным на них наклонным режущим ребром ледореза. Для обеспечения жесткости ледореза между сваями ставятся подкосы и схватки.

Наклон режущего ребра ледореза принимается в пределах от 1:1,5 до 1:2. Льдина, встречая на своем пути наклонный нож ледореза, под влиянием силы инерции поднимается по нему и разламывается под действием собственного веса. Поэтому верх режущего ребра ледореза должен возвышаться над горизонтом самого высокого ледохода не менее чем на 1,0—1,5 м, чтобы льдина, поднимаясь по ребру, не могла перескочить его и повредить опору. Нижний конец режущего ребра ледореза должен располагаться ниже горизонта самого низкого ледохода не менее чем на 0,5—1,0 м. Для защиты широких опор применяют шатровые ледорезы, устраиваемые из трех рядов свай. Между собой ряды свай соединяются наклонными насадками и раскрепляются подкосами и схватками. Режущее ребро ледореза укрепляется металлом. Наклонные и боковые грани ледореза обшиваются листовым железом. Ширина шатровых ледорезов назначается в зависимости от их высоты и мощности ледохода, но не менее ширины опоры. В тех случаях, когда дно реки не допускает забивки свай, применяют ряжевые ледорезы.

8.4. Мостовое полотно деревянных мостов

Мостовое полотно деревянных мостов устраивается на мостовых брусках (поперечинах) (рис. 8.10). Путьевые рельсы укладываются на подкладки и пришиваются костылями к мостовым брускам. Контррельсы (или контруголки) помещаются внутри колеи так же, как на металлических мостах. Для предупреждения продольного сдвига поперечины, а также для направления вдоль моста сошедшего с рельсов подвижного состава устанавливаются противоугонные (охранные) бруска или уголки. Охранные бруска укладываются с наружной стороны рельсового пути на расстоянии 380—400 мм от наружной грани путевого рельса. Охранные бруска соединяются с мостовыми брусками (поперечинами) взаимной врубкой и болтами.

Поперечины укладывают на прогоны так, чтобы расстояние между ними в свету было в пределах 10—15 см. Каждая третья поперечина прикрепляется к прогонам вертикальными болтами. Поперечины и прогоны соединяют также взаимной врубкой глубиной 2 см. Между контррельсами укладывают дощатый настил. На мостах длиной более 20 м или высотой более 5 м, на путепроводах и мостах, расположенных в пределах станций, устраиваются тротуары с перилами. На деревянных

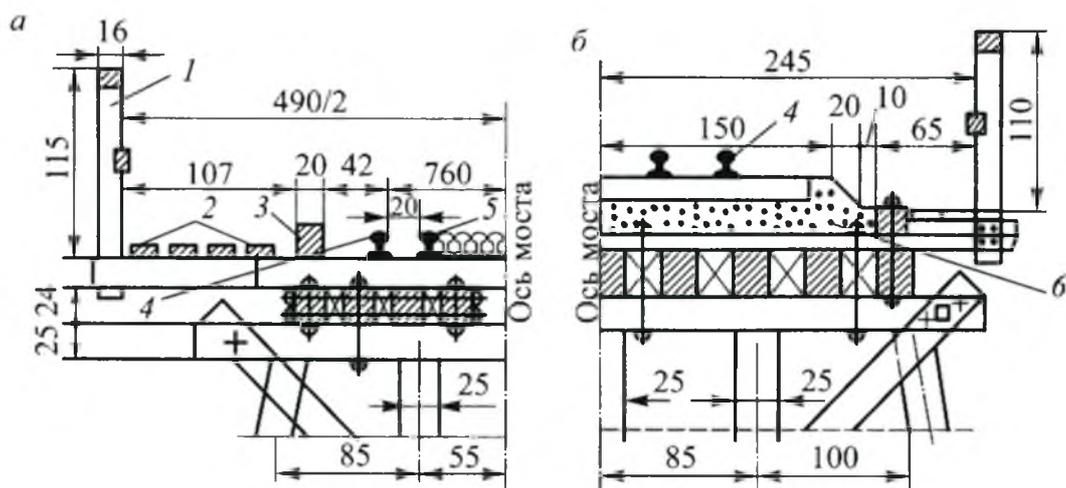


Рис. 8.10. Мостовое полотно деревянных мостов (поперечные разрезы):
 а — на поперечинах; б — на балласте; 1 — перила тротуара; 2 — настил тротуара; 3 — охранный брус; 4 — путевой рельс; 5 — контррельс; б — балластное корыто

мостах мостовое полотно с ездой на балласте применяется в районах с сухим и жарким климатом, где велика опасность возгорания. Такая конструкция целесообразна и для мостов на криволинейных участках пути, так как наличие балластной призмы легко обеспечивает решение вопроса о возвышении наружного рельса в кривой. При устройстве мостового полотна на балласте на мостах с одноярусным расположением прогонов их располагают равномерно по ширине моста. На прогоны укладывается настил из досок сечением 22×10 см, прибитых гвоздями (зазоры между досками около 3 см). Для предотвращения осыпания балластной призмы по обеим сторонам устанавливают бордюрные брусья сечением 20×14 см. Толщина балластного слоя под шпалой должна быть не менее 15 см.

8.5. Другие виды деревянных мостов

Эстакадные мосты. Отличительной особенностью всякой эстакады является однообразная высота опор и одинаковые пролеты, что позволяет стандартизировать почти все элементы. Деревянные эстакадные мосты состоят из рамно-свайных или рамно-лежневых опор и одинаковой величины прогонов (обычно до 3 м). Эстакадные мосты имеют сборную конструкцию и рассчитаны на изготовление стандартных элементов из пиленого леса с простыми соединениями без врубок (рис. 8.11). Сборные эстакадные мосты обладают целым ря-

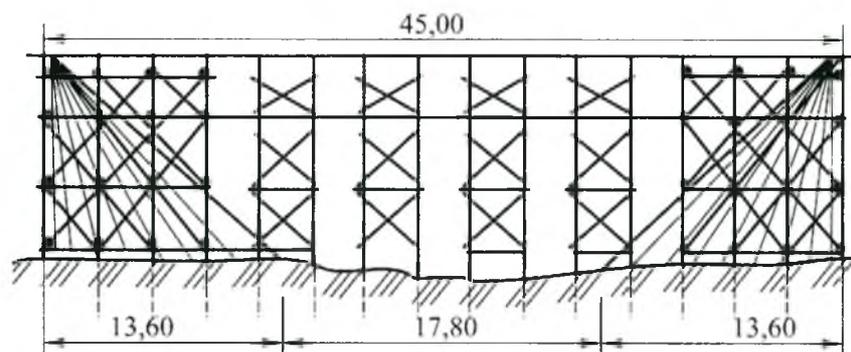


Рис. 8.11. Схема эстакадного моста

дом преимуществ по сравнению с обыкновенными мостами, так как позволяют производить заготовку на заводах или полигонах с предварительной пропиткой и сушкой древесины и с применением шаблонов для механизированной обработки элементов. Опоры для эстакадных мостов применяются рамно-свайные.

Балочно-подкосные мосты. В балочно-подкосных мостах при одинаковом сечении прогонов удастся значительно увеличить расстояние между опорами по сравнению с простыми балочными мостами (в 2—3 раза) за счет создания подкосами промежуточных опор. Одновременно введение в систему подкосов приводит к усложнению конструкции, требующей большого количества врубок и тщательной подготовки элементов на месте. Кроме того, при передаче усилия с подкоса на опору возникает горизонтальная составляющая, распор, для восприятия которого необходимо ставить горизонтальные элементы — затяжки или усиливать опоры. Различаются следующие системы деревянных мостов: ригельно-подкосные, треугольно-подкосные и комбинированные системы. Ригельно-подкосные системы служат для перекрытия пролетов от 8 до 12 м. В треугольно-подкосных системах прогоны поддерживаются в середине пролета двумя подкосами, нижние концы которых упираются в опоры; применяются для пролетов до 12 м. Комбинированные подкосные мосты, имеющие 4—6 подкосов в пролете, могут служить для перекрытия пролетов от 12 до 20 м.

Пакетные пролетные строения состоят из бревен или брусьев, объединенных в пакеты. Пакеты, в которых элементы соединены с помощью болтов и поперечных накладок, называются простыми, в них бревна или брусья работают на изгиб раздельно.

Пакеты, в которых составляющие их бревна или брусья включены в совместную работу с помощью шпонок, колодок и других средств, на-

зываются составными. Пакеты устанавливаются под каждую рельсовую нить (в пакете может быть от 3 до 9 бревен) и объединяются между собой в пакетное пролетное строение.

Клееные и клефанерные пролетные строения чаще применяют на автодорожных мостах, но их можно применять и на железнодорожных мостах (рис. 8.12).

Клееные конструкции изготавливаются из пиломатериалов, клеенных атмосферостойкими, водо- и биостойкими синтетическими клеями,

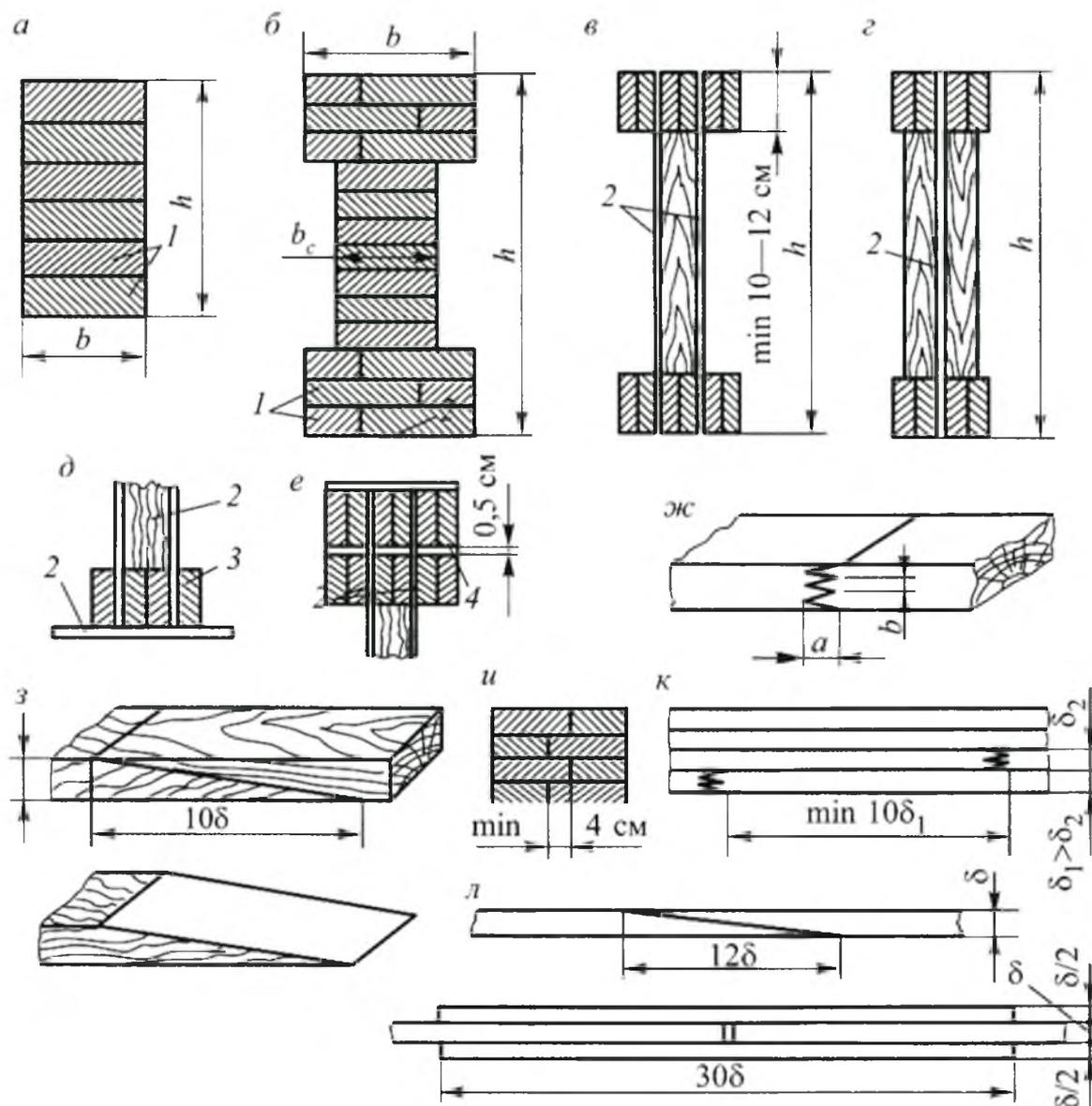


Рис. 8.12. Сечения клееных и клефанерных балок и стыки их элементов:
 а, б, в, г — поперечные сечения клееных балок; д, е — сечения нижних и верхних поясов балок; ж, з, и, к, л — устройство стыков и досок в клееных конструкциях; 1 — доски; 2 — бакелизированная фанера; 3, 4 — доски поясов

обладающими высокой прочностью и долговечностью. Это фенольные, резорциновые и фенольно-резорциновые клеи.

Толщина досок для клееных конструкций не должно превышать 3,3 см для главных балок и 4,3 см для остальных элементов. В клееных конструкциях наряду с обычной древесиной применяется бакелиризованная фанера, изготовленная из тонких слоев березовой древесины (шпона), склеенных водостойким клеем. Используя этот материал в сочетании с пиломатериалами, можно получить более легкие балки, называемые клефанерными.

Для изготовления клееных конструкций используются и жесткие древеснослоистые пластики (ДСП).

Мосты с решетчатыми фермами. Фермы Гау—Журавского с ездой поверху и понизу применяют для пролетов от 20 до 50 м. Решетка ферм крестовая, пояса и раскосы из круглого или пиленого леса, тяжи из круглой стали.

8.6. Постройка деревянных мостов

Работы по изготовлению прогонов, насадок и поперечин заключаются в отеске круглых бревен на два канта, разметке, перепиливании и сверлении отверстий для болтов. Процесс установки элементов на готовые опоры состоит из следующих основных работ: подмащивания, укладки прогонов, поперечин и рельсового пути. Укладка прогонов может производиться надвижкой их в пролет с насыпи вдоль моста, подъемкой краном или вручную по наклонным следам.

Сваи погружаются в грунт копрами не менее чем на 4 м ниже дна реки. Сваи забиваются вертикально, отклонение допускается не более $1/30$ длины наземной части сваи; при больших отклонениях свая выдергивается и забивается снова. После забивки головы свай срезаются строго перпендикулярно их оси на уровне проектной отметки с запасом 2—3 см на осадку сваи. Установка готовых пролетных строений в зависимости от их веса, конструкции и местных условий производится самоходным или консольным краном (рис. 8.13). Работа по установке пролетных строений на опоры заключается в подвешивании пролетных строений к крану, подаче крана вместе с пролетным строением к месту установки, опускании пролетного строения на опоры, освобождении пролетного строения от строп.

Подмости, их назначение и характеристика. Подмости устраивают для различных этапов строительства моста: бетонирования монолитных конструкций, установки готовых сборных элементов мостов в проектное положение.

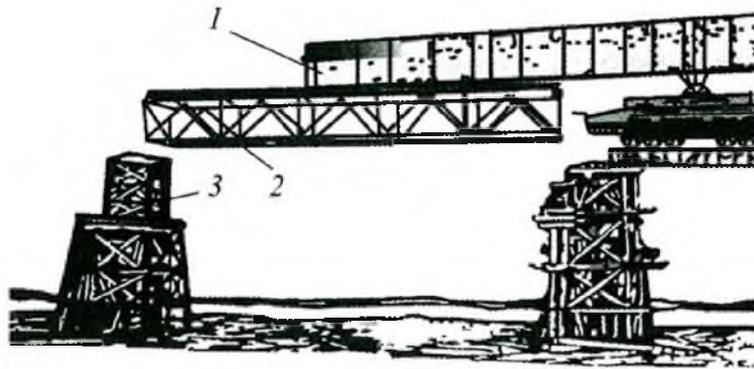


Рис. 8.13. Установка пролетного строения на опоры консольным краном:
1 — консоль крана; 2 — пролетное строение; 3 — опора

Деревянные подмости представляют собой простейшие конструкции деревянных мостов и могут быть стоечного, подкосного и ригельно-подкосного типов. Стоечные подмости выполняются с расстоянием между опорами 2—3 м, а подкосные и ригельно-подкосные — до 6—9 м. Верхняя часть подмостей, устраиваемая для бетонирования, представляет собой плотный настил из досок, которые служат опалубкой низа главных балок. В подмостях предусматриваются устройства для раскружаливания. При расположении подмостей на сухом месте при достаточно плотном грунте основания подмостей устраиваются лежневого типа. В слабых грунтах для подмостей речных пролетов применяют свайные опоры.

Разновидностью поддерживающих сооружений для изготовления арочных конструкций являются кружала. Кружала — это те же подмости, только верхняя часть их очерчена по кривой свода или арки. К кружалам предъявляются повышенные требования по точности изготовления и жесткости их конструкций, так как даже незначительное отклонение оси арок от заданного проектного положения может вызвать повышение напряжений в отдельных сечениях конструкций. Кружала конструктивно делятся на две части: нижнюю — подмости и верхнюю, состоящую из кружальных ферм. Между ними располагаются приборы для раскружаливания. Кружала представляют собой сложные инженерные конструкции, их расчет, проектирование и особенно возведение требуют высокой квалифицированности исполнения. Для уменьшения расхода пиломатериалов и снижения трудоемкости деревянные кружала заменяются инвентарными металлическими.

Конструкция кружал и приборы для раскружаливания даны в гл. 5.

Глава 9 ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ

9.1. Назначение и виды подпорных стен

Подпорные стены предназначены поддерживать от обрушения находящийся за ними грунт. Широко применяются на дорогах для поддержания и защиты от разрушения или сплыва крутых откосов насыпей или выемок, когда по условиям местности не представляется возможным устроить откосы нормальной крутизны. Подпорные стены (рис. 9.1) соору-

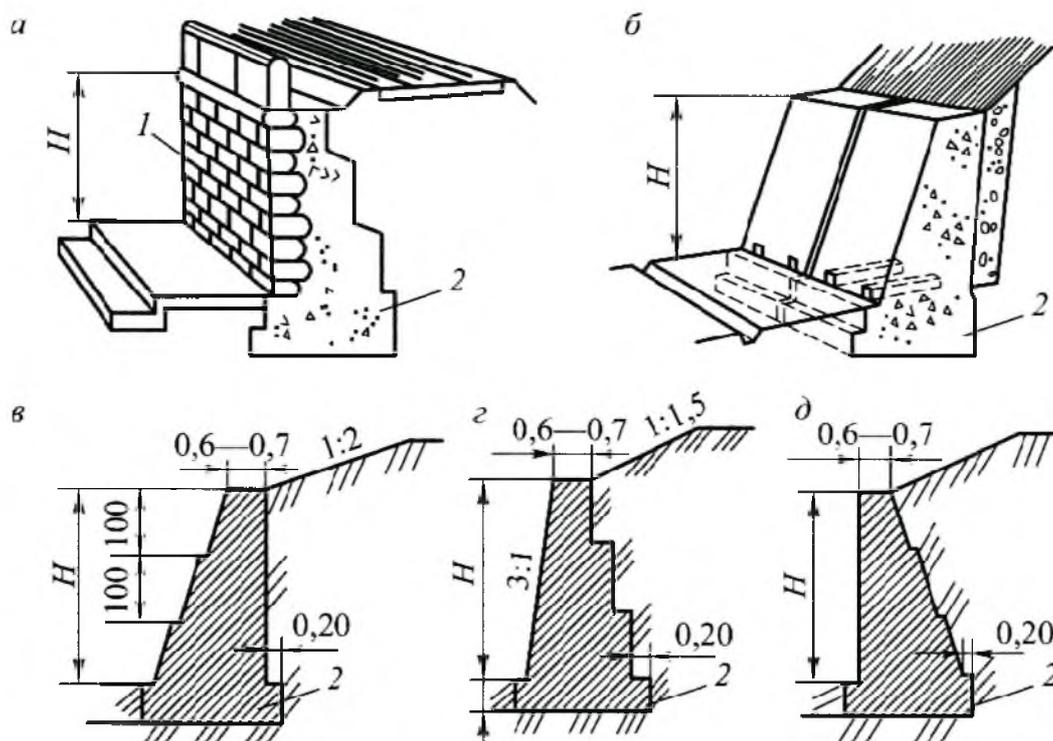


Рис. 9.1. Бетонные и каменные подпорные стены:
a, d — подпорные стены с вертикальной передней стенкой; *б, з* — подпорные стены с наклонной передней стенкой; *в* — подпорная стена со ступенчатой передней стенкой; *1* — облицовка; *2* — фундамент; *H* — высота стены до обреза фундамента

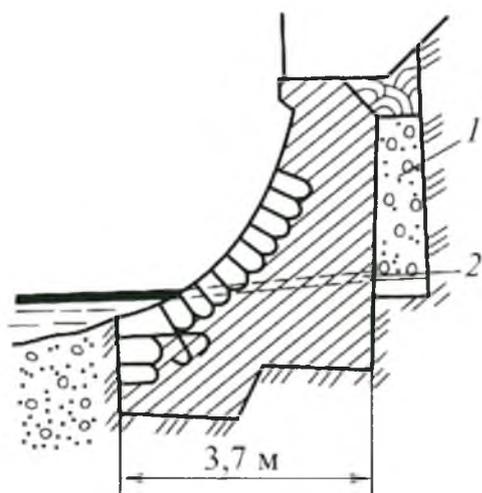


Рис. 9.2. Морская подпорная стена:

1 — дренаж за стеной; 2 — отверстие для выпуска воды из-за стены

жаются в случаях, когда путь проходит на косогорных и прибрежных участках вдоль обрывистых берегов рек, озер, морей (рис. 9.2) и на подходах к тоннелям. На дорогах, проходящих по косогорам, для уменьшения объемов земляных работ сооружаются низовые и верховые подпорные стены; в первом случае на уровне проезжей части дороги находится основание стены, во втором — ее верхняя площадка. Форма, размеры, материал и способ постройки подпорных стен выбирается в зависимости от геологического строения местности, крутизны поддерживаемого откоса или конфигурации косогора, по которому проходит дорога. Подпорные стены сооружаются

монолитными и сборными из железобетона, бетона или бутобетонной кладки, каменной кладки (сухой или на растворе).

Удерживая грунт от обрушения, подпорные стены должны иметь достаточные размеры и массу, чтобы устоять на месте. В противном случае грунт может сдвинуть стену. Легкая стена с узким фундаментом может быть опрокинута грунтом вокруг нижнего ребра фундамента. Ширина фундамента может обуславливаться и давлением на грунт. Фундаменты подпорных стен закладываются на надежном естественном основании ниже глубины промерзания грунта, при необходимости устраиваются свайные фундаменты. Для обеспечения нормального стока воды и исключения возможности скопления ее за стеной в стенах устраиваются выпускные отверстия размером 15×15 см и застенные дренажи из щебня или гравия. Задние поверхности стен покрываются обмазочной гидроизоляцией. Лицевая сторона подпорной стенки может быть вертикальной или наклонной. Для защиты земляного полотна, расположенного на берегу моря, устраиваются специальные типы подпорных стен, у которых лицевая поверхность со стороны моря имеет криволинейное очертание. При необходимости передняя грань подпорной стены облицовывается прочным камнем, иногда чистой тески. По форме поперечного сечения массивные подпорные стены различны, однако для всех их характерно уширение книзу. Различия конструктивных форм определяются назначением стены, материалом и местными условиями.

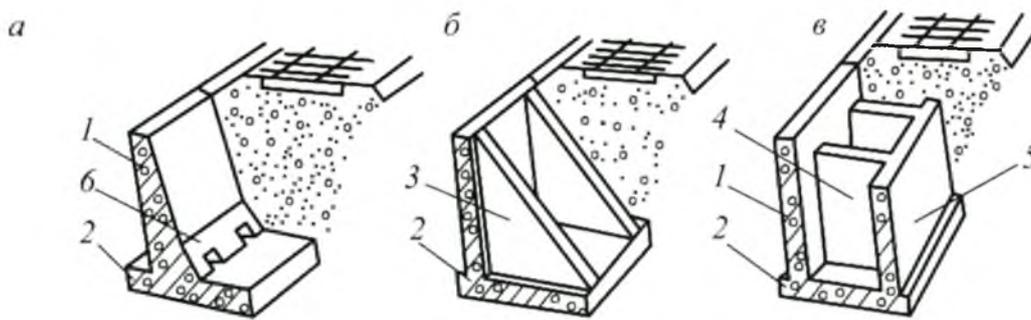


Рис. 9.3. Железобетонные подпорные стены:

а — уголковая стена; *б* — контрафорсная стена; *в* — стена с диафрагмами жесткости; 1 — лицевая стена; 2 — фундаментная плита; 3 — ребро жесткости (контрафорс); 4 — диафрагмы; 5 — задняя стена; 6 — усиление стены сплошным бутом

Использование железобетона позволяет резко снизить толщину стен, создавать конструкции, не выполнимые из камня. Железобетонные стены, как и массивные, разделены по длине швами на звенья (рис. 9.3). Применяются и сборные конструкции из железобетонных брусьев; такая стена в виде ряжа, засыпанная грунтом, проста в сборке и не требует специальных дренирующих устройств. При опасности размыва такая стена заполняется не грунтом, а камнем. Устраивают и стены, сооруженные из габионов, но из-за ржавления и разрушения сетки такие стены носят временный характер. Применяются стены в виде шпунтового ограждения. Они выглядят как сплошное ограждение из свай, металлических или железобетонных шпунтин. Устойчивость против опрокидывания шпунтовых стен создается исключительно глубиной заделки их в грунт. Надзор и уход за подпорными стенами в основном такой же, как и за другими массивными конструкциями из соответствующих материалов.

9.2. Противообвальные и селезащитные сооружения

Противообвальные сооружения устраивают для укрепления обвальных косогоров и выемок, для защиты пути от оползней, сплывов, падения камней, осыпей, снежных лавин. По способу ограждения пути противообвальные сооружения подразделяются на:

- галереи, перекрывающие путь и защищающие его как сверху, так и сбоку (рис. 9.4, 9.5);
- улавливающие сооружения и устройства, ограждающие путь только сбоку — со стороны нагорного склона.

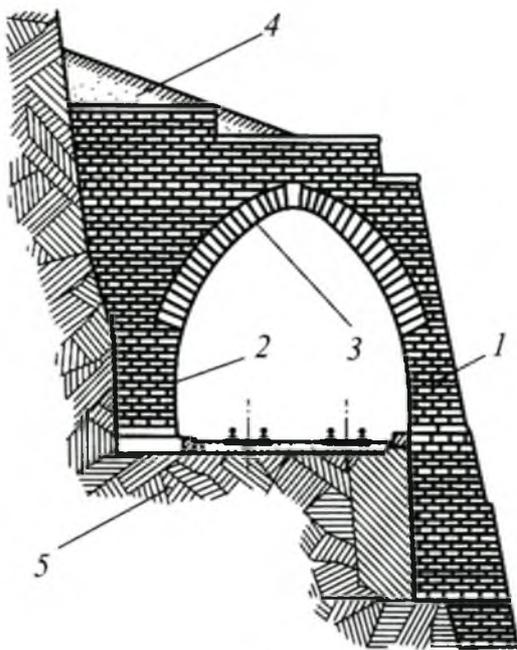


Рис. 9.4. Каменная арочная галерея:
 1 — внешняя стена; 2 — внутренняя
 стена; 3 — свод; 4 — засыпка;
 5 — скала

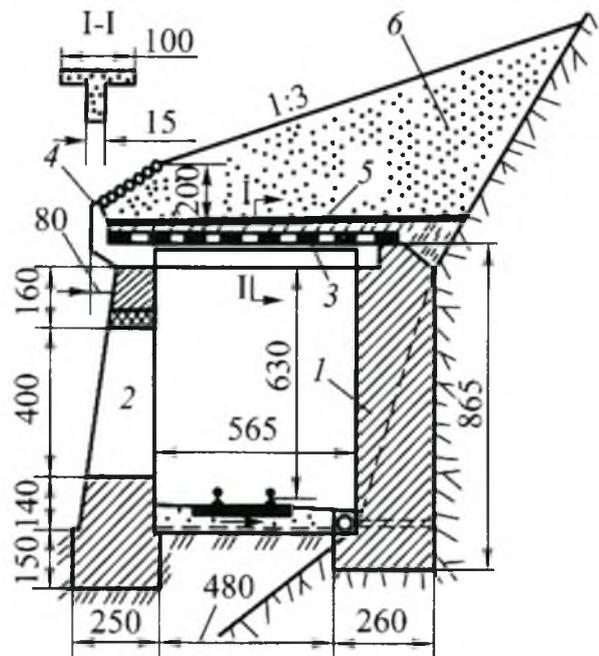


Рис. 9.5. Железобетонная галерея:
 1 — внутренняя стена; 2 — внешняя
 стена; 3 — железобетонное покрытие;
 4 — бортик; 5 — гидроизоляция;
 6 — амортизирующая отсыпка

Галереи имеют различную конструкцию и выполняются из камня, бетона и железобетона. Каменные галереи имеют арочную конструкцию, такие галереи состоят из внутренних стен, расположенных со стороны склона, и из внешних стен, пролет между ними перекрыт каменным сводом. Железобетонная галерея состоит также из двух стен: внутренней (со стороны косогора) и внешней, перекрытых сборным железобетонным перекрытием. Для освещения галереи и уменьшения объема бетона во внешних стенах устраиваются окна (проемы). Сборные железобетонные балки перекрытия поддерживают амортизирующую отсыпку толщиной 3 м из местного грунта. Проемы перекрываются железобетонными перемычками. Перекрытие гидроизолируется, в бортике делается отверстие для выпуска воды. За внутренней стенкой устраивается дренаж с выпуском воды в путевой лоток. Вместо внешних стен с проемами устанавливают также отдельные столбы, служащие опорами перекрытия.

Улавливающие сооружения для задержания обваливающихся частей горной породы устраиваются в виде полок — террас, рвов, обваловывания, улавливающих стен. Улавливающие сооружения располага-

ются у полотна дороги в основании нагорного склона или откоса выемки при крутизне склонов до 40° .

Селеспуски. Селями называются грязекаменные потоки, стекающие по оврагам с горных склонов. Сели загромождают путь и создают угрозу безопасности движения поездов. В местах наиболее мощных грязекаменных выносов устраиваются селеспуски, барражи и другие устройства. Селеспуски сооружаются в виде широкого арочного или рамного перекрытия над железнодорожным путем. Для перепуска селей из оврага на поверхности перекрытия устраивается лоток. В большинстве селеспусков лоток имеет трапецеидальное очертание высотой 3 м и шириной по низу 4—6 м. На селеспусках балочной конструкции делается консольный вылет лотка. В арочных селеспусках сброс селей осуществляется в виде вертикальных стен, ограниченных с боков направляющими крыльями. Продольный уклон селеспусков составляет $8—15^\circ$.

Глава 10 ТОННЕЛИ

10.1. Общие сведения о тоннелях

Тоннелем называется горизонтальное или наклонное подземное искусственное сооружение, имеющее значительную протяженность и предназначенное для транспортных целей, пропуска воды, прокладки городских коммунальных сетей или размещения производственных предприятий. К транспортным относятся тоннели железнодорожные, автодорожные, городские, пешеходные, судоходные, тоннели метрополитенов.

Классификация транспортных тоннелей определяется признаками, положенными в их основу. По месту расположения тоннели бывают горные (рис. 10.1), подводные (рис. 10.2) и городские различного назначения. По способу постройки различаются тоннели, сооружаемые открытым и закрытым способами.

При открытом способе в предварительно разработанном котловане сооружается тоннельная конструкция, которая после ее завершения засыпается грунтом. Закрытый способ постройки (проходки) тоннелей делится на два типа: горный и щитовой. При горном способе создается подземная выработка, закрепляемая временной крепью, под защитой

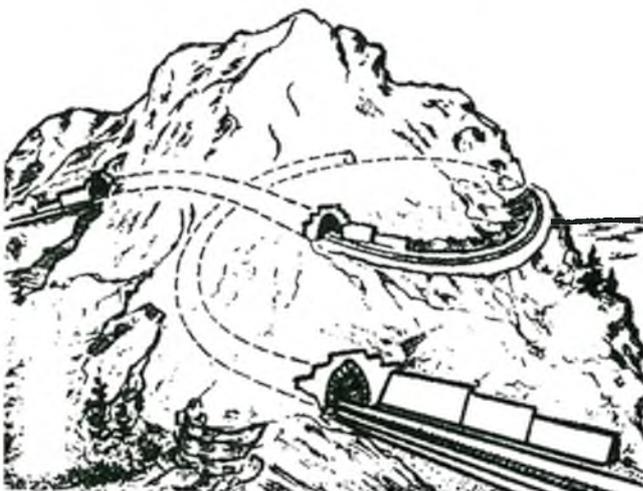


Рис. 10.1. Горные тоннели

которой сооружается постоянная тоннельная конструкция, которая называется тоннельной обделкой. Такая конструкция обычно выполняется из монолитного бетона. Щитовой способ постройки основан на использовании проходческого щита — подвижной стальной крепи, ограждающий место разработки грунта и сооружения обделки, которая при щитовом способе

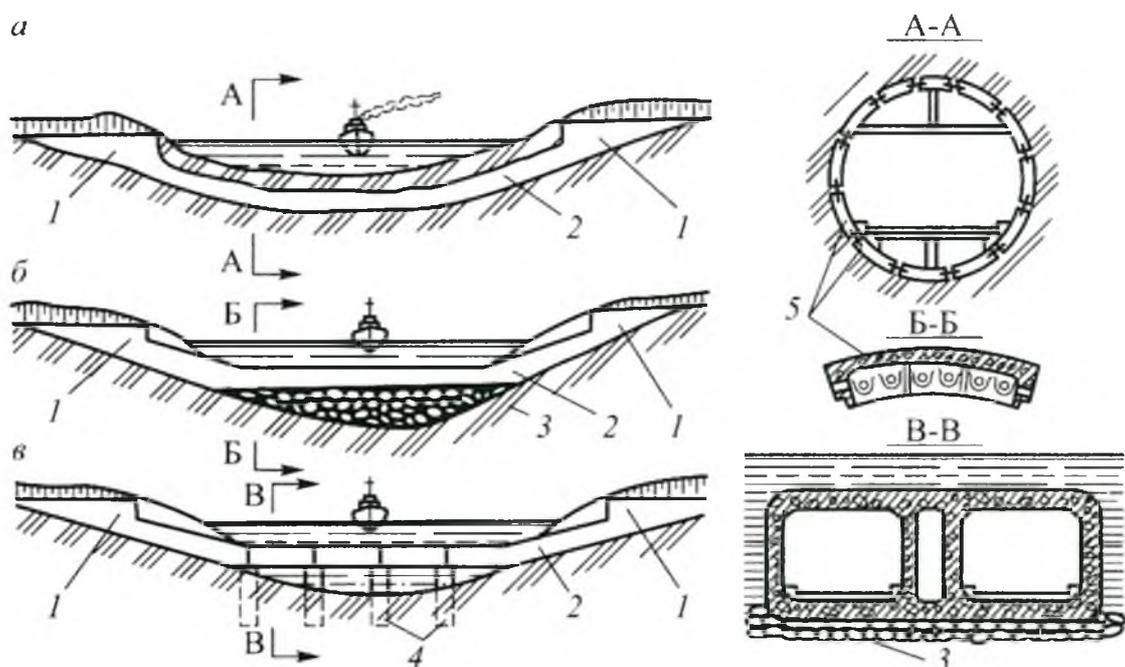


Рис. 10.2. Схемы подводных тоннелей:

a — тоннель, проходящий в толще естественного; *б* — тоннель, уложенный по выровненному дну или подводной дамбе; *в* — тоннель, опирающийся на отдельные подводные опоры (тоннель-мост); 1 — рамный участок; 2 — подводный участок; 3 — дамба; 4 — опоры тоннеля; 5 — тубинг тоннельной отделки

производства работ является сборной из железобетонных или чугунных элементов заводского изготовления, называемых тубингами.

Применение тоннелей расширяет возможности трассирования и улучшает эксплуатационные показатели транспортной линии. Преодоление больших водных препятствий возможно в двух вариантах: постройкой моста или подводного тоннеля. Постройка подводного тоннеля возможна щитовым способом или способом опускных секций. Особенно успешно в мировой практике применяется метод опускных секций, который отличается высокой индустриализацией. Секции длиной 100—150 м изготавливаются в заводских условиях в доках или на стапелях (подобно судам) и сплавляются к месту постройки тоннеля, опускаются в заранее подготовленную траншею или при глубоких водотоках на дамбу. Дальнейший процесс сводится к сравнительно мало трудоемкому и хорошо механизированному соединению отдельных секций в тоннель под водой.

Тоннельное решение имеет целый ряд преимуществ перед мостовым: отсутствие помех судоходству, защищенность от ветра, льда и волн, меньшая безопасная высота подъема транспорта и меньшая длина пересече-

ния при высоком габарите судов и широкой пойме. К недостаткам тоннельного решения относятся: необходимость вентиляции, постоянного освещения и водоотвода. По экономическим показателям короткие тоннели уступают мостам. С увеличением длины стоимость 1 пог. м моста увеличивается, а стоимость 1 пог. м тоннеля уменьшается.

Способы устройства тоннелей зависят от глубины их заложения от поверхности земли, от геологических и гидрогеологических условий. Форма и размеры поперечных сечений тоннелей, их длина, характер продольного профиля и положение в плане зависят от назначения тоннеля и условий местности.

При сооружении горного тоннеля порода удаляется по всему его поперечному сечению. Пространство, образующееся при подземной выемке грунта, называется выработкой. Работы начинаются с проходки штолен, выработок небольшого сечения; далее выработка расширяется до проектных размеров. Обделка состоит из верхнего свода, боковых стен и обратного свода при наличии бокового и подошвенного давления грунта. Если это давление отсутствует, применяется конструкция обделки без обратного свода. Для отвода воды в подошве тоннеля устраивается лоток. Крайние кольца тоннельной обделки, несколько выдвинутые вперед и архитектурно оформленные, называются порталом.

При разработке тоннеля щитовым способом поперечное сечение имеет круглую форму, а при открытом — прямоугольную (рис. 10.3, *а*, *б*; рис. 10.4 и 10.5). Тоннели в плане могут быть прямолинейными и кри-

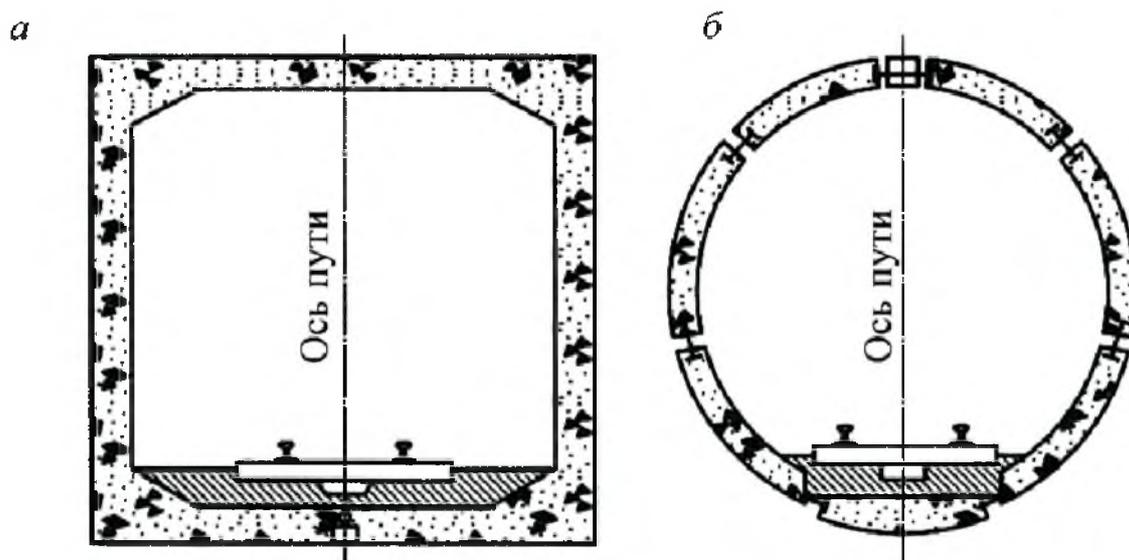


Рис. 10.3. Поперечное сечение тоннеля, разработанного:
а — открытым способом; *б* — щитовым способом

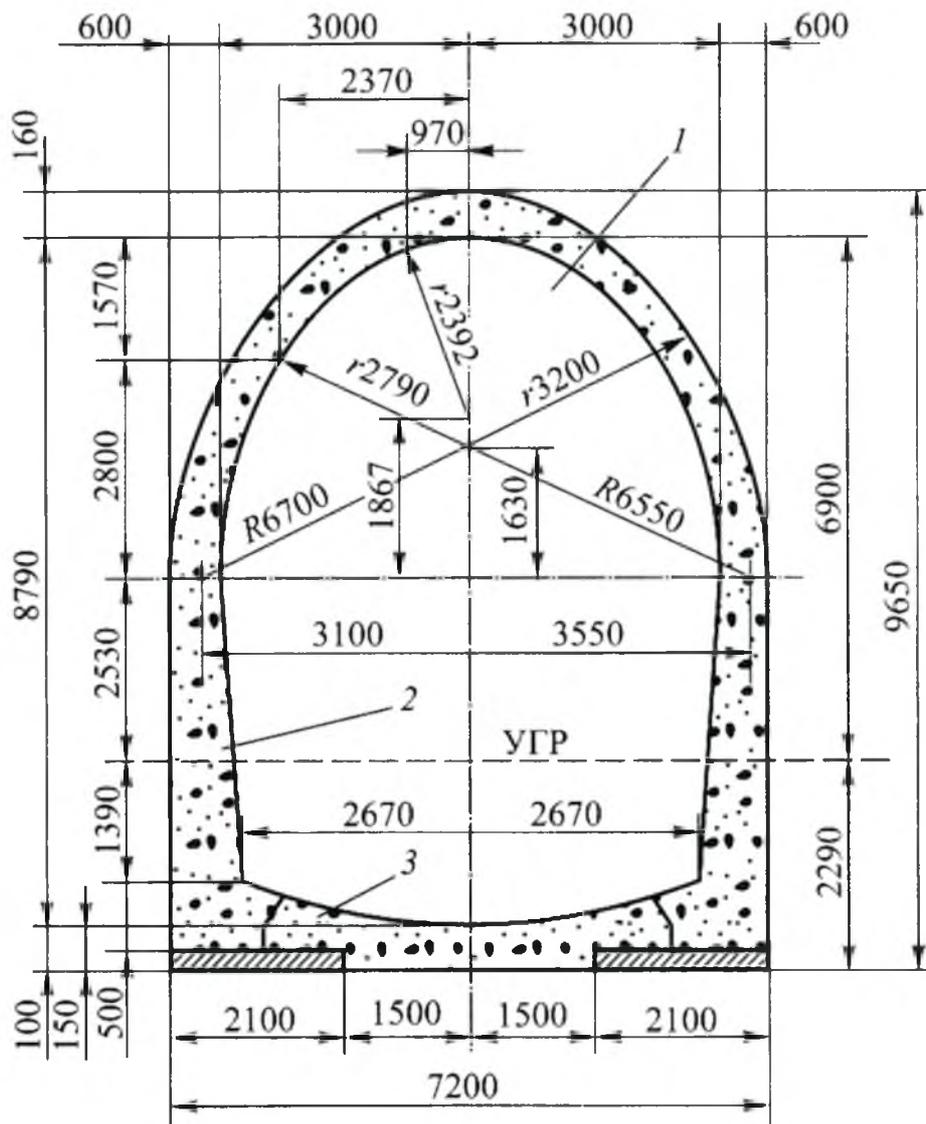


Рис. 10.4. Конструкция монолитной бетонной обделки с обратным сводом (давление грунта вертикальное и боковое):
 1 — свод; 2 — стены; 3 — обратный свод

волинейными. В криволинейных тоннелях ухудшаются условия эксплуатации; возрастает сопротивление воздушной среды и ухудшаются условия вентиляции. Тоннели, трасса которых делает полный поворот или поворачивает на угол более 360° внутри горного массива для преодоления высоты подъема, на коротком горном участке, носят название спиральных. Трасса одного и того же спирального тоннеля пересекается в некоторой точке в разных уровнях.

Если трасса тоннеля поворачивает на 180° и более внутри горного массива, то такие тоннели называются петлевыми (рис. 10.6). По характеру продольного профиля тоннели бывают горизонтальные, двух-

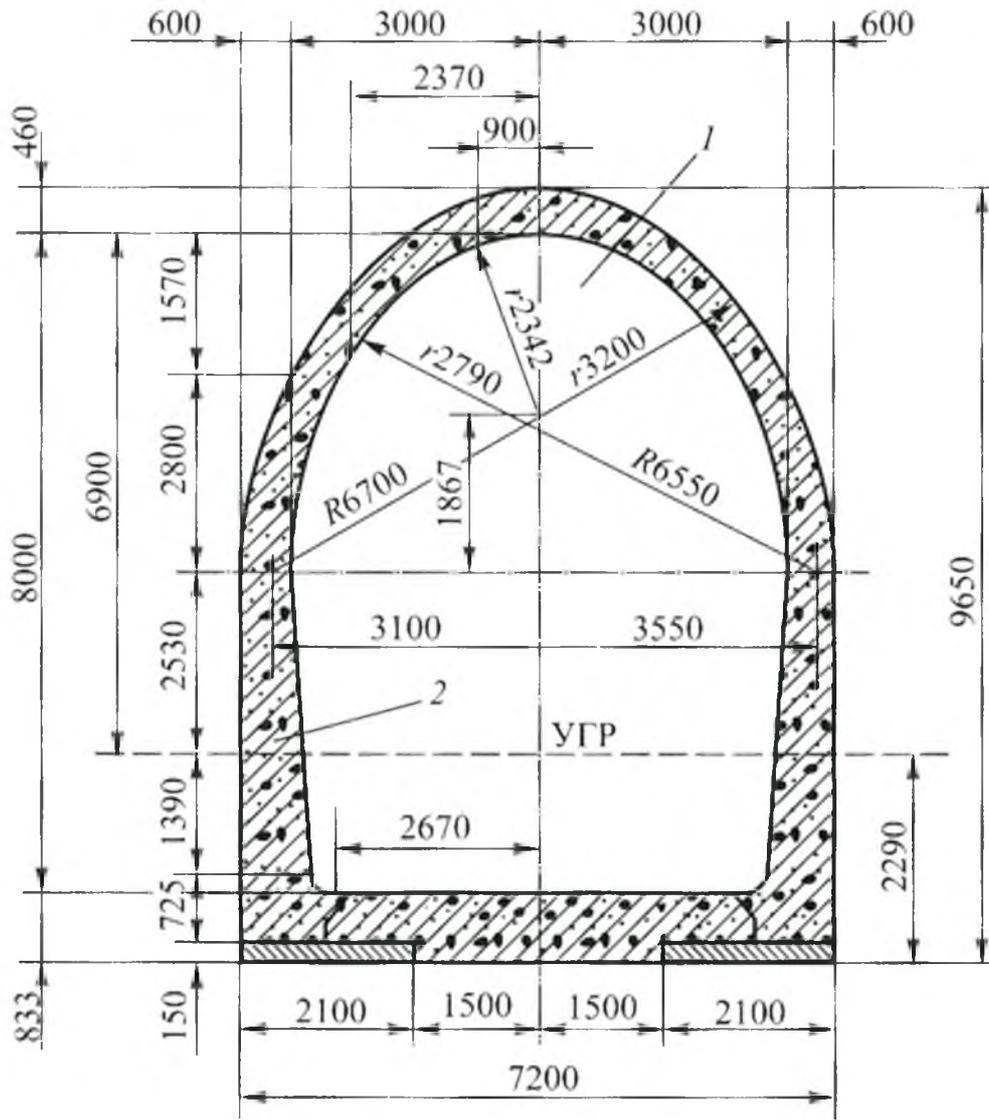


Рис. 10.5. Конструкция монолитной бетонной обделки без обратного свода:
 1 — свод; 2 — стены

скатные и односкатные. Короткие горизонтальные участки длиной от 200 до 400 м применяются как разделительные площадки между двумя

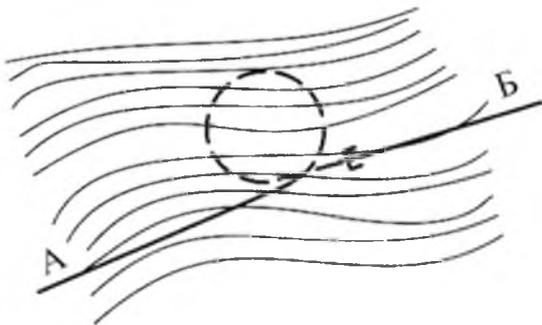


Рис. 10.6. План спирального тоннеля

уклонами, направленными в разные стороны. Длинные горные тоннели имеют обычно двухскатный профиль с уклоном от середины к порталам тоннеля (рис. 10.7). Повышенная влажность в тоннеле, уменьшение коэффициента сцепления колеса с рельсом, дополнительное сопротивление движе-

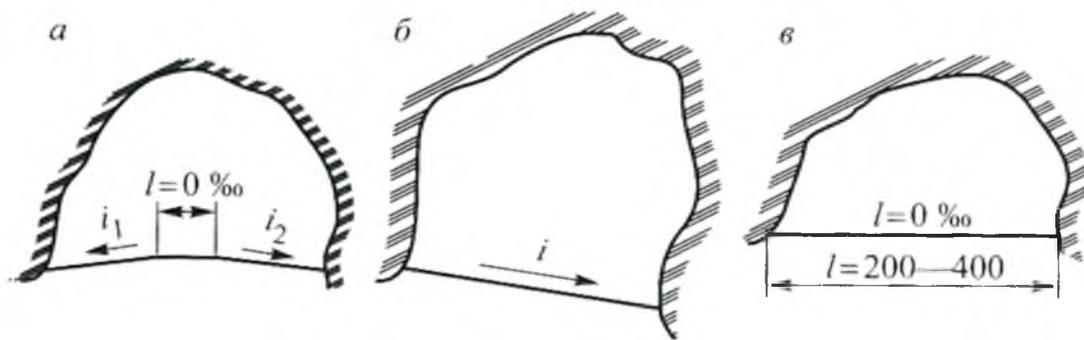


Рис. 10.7. Продольный профиль тоннелей:

а — двухскатный тоннель; *б* — односкатный тоннель; *в* — тоннель на горизонтальной площадке

нию поезда в тоннеле значительно возрастает, что требует смягчения (уменьшения) уклона на величину до 25 ‰ против допускаемых уклонов вне тоннеля. Руководящий уклон, принятый для открытых участков трасы железнодорожной линии, допускается сохранять в тоннеле длиной не более 300 м.

В России накоплен огромный опыт строительства тоннелей (рис. 10.8). Первые тоннели были построены в период с 1852 по 1862 гг. на магистрали Петербург—Варшава: Виленский длиной 427 м и Ковенский — 1278 м. В последней четверти XIX в. Россия начинает строительство железных дорог в горных районах Кавказа, Крыма, Урала и Сибири.

Значительный интерес представляло строительство самого протяженного для того времени двухпутного Сурамского тоннеля на линии Поти—Тифлис протяженностью 3998 м. Постройка Сурамского тоннеля — образец инженерного искусства, строительство его про-

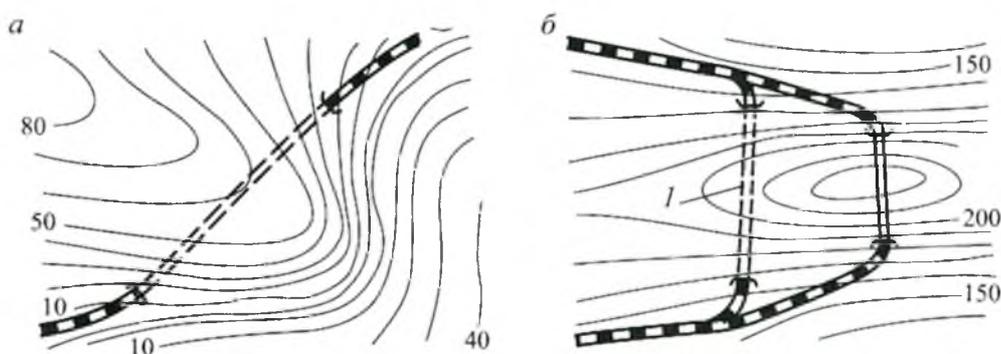


Рис. 10.8. Виды горных тоннелей:

а — мысовой тоннель; *б* — перевальный тоннель; *l* — вариант трассы тоннеля при пересечении хребта

должалось 4 года. Большое количество тоннелей построено в период строительства Транссиба и Байкало-Амурской магистрали, многие из них уникальны. На трассе БАМа расположено пять перевальных тоннелей: Байкальский — длиной 6,7 км, Кодарский — 1,9 км, Дусе-Алинский — 1,8 км, Нагорный — 1,2 км и Северо-Муйский — длиной 15,3 км (рис. 10.9).

Северо-Муйский тоннель проходит в исключительно сложных инженерно-геологических условиях сейсмичностью 9—10 баллов. По техническому проекту предстояло пересечь 26 тектонических зон, сложенных разрушенными и обводненными породами, наблюдалось сильное горное давление и большой приток напорных вод, грунты совершенно неустойчивые. Проходка осуществлялась двумя способами: щитовым и горным.

Условия проходки были сложнейшими, так как на забой наблюдался водоприток от 3—5 м³/ч до 700—1000 м³/ч с колебаниями температуры воды от +20 до +40 °С. После проходки порядка 6 км произошел выброс грунтовой массы с напорной водой общим объемом 5 тыс. м³. Результатом этой аварии явилась полная остановка работ на два года. Для ввода всей Байкало-Амурской железной дороги в установленный срок сооружен открытый участок трассы (второй путь) с уклоном двойной тяги $i = 18 \%$, протяженностью 54,6 км. Временный двухпутный обход Северо-Муйского тоннеля сооружался с уклоном $i_p = 40 \%$, протяженностью 24,7 км.

Начиная с 1931 г. в Советском Союзе приступили к строительству Московского метрополитена, и по настоящее время строительство метрополитенов в стране не прекращается. Сразу же после окончания Великой Отечественной войны начинается строительство метро в Киеве, Харькове, Тбилиси. К моменту распада СССР наша страна занимала первое место в мире по числу городов с действующими метрополитенами.

В последние десятилетия XX в. резко сократилось строительство транспортных тоннелей и метрополитенов. Однако накопленный потенциал в метро- и тоннелестроении позволяет думать, что уже первые годы XXI в. будут временем возрождения отрасли. По перспективному плану строительства метрополитенов в России до 2010 г. протяженность линий должна увеличиться до 812,2 км в 13 городах: в Москве — 378,6 км, Санкт-Петербурге — 185,5 км, Нижнем Новгороде — 28,4 км, Новосибирске — 36,1 км, Самаре — 24,5 км, Екатеринбурге — 22,4 км, Челябинске — 24,5 км, Омске — 27 км, Красноярске — 13,1 км, Перми —



Рис. 10.9. Схема расположения тоннелей по трассе БАМа (цифрами обозначены горные хребты):
 1 — Байкальский; 2 — Верхне-Ангарский; 3 — Северо-Муйский; 4 — Кодарский; 5 — Становой

16,3 км, Ростове-на-Дону — 13,6 км, Казани — 19,7 км, Уфе — 17,5 км. Построенные ранее метрополитены в столицах бывших союзных республик теперь находятся за пределами нашей страны (рис. 10.10).



Рис. 10.10. Развитие метрополитенов в России на период до 2010 г.

10.2. Конструкции тоннельных обделок

Обделка — строительная конструкция, образующая внутреннюю поверхность подземного сооружения. Обделка предназначена для защиты подземных сооружений от разрушений, чрезмерных смещений окружающих пород, проникновения подземных вод. Даже скальные породы со временем выщелачиваются грунтовыми водами, выветриваются и постепенно разрушаются, тем интенсивнее, чем пористее и слабее порода. Препятствуя обрушению грунта, обделка воспринимает на себя его давление. В зависимости от категории грунта, его состояния, напластования и обводненности давление грунта различается по величине и направлению. Соответственно, различной проектируется конструкция и толщина обделок.

Обделки тоннелей бывают монолитные и сборные.

Размеры и формы внутренних очертаний обделок транспортных тоннелей определяются главным образом габаритом приближения строе-

ний. Для железных дорог нормальной колеи установлен габарит «С», приведенный в ГОСТ 9238-83.

Конструкции обделок можно свести к двум группам: для грунтов с вертикальным давлением и для грунтов с вертикальным и боковым давлением. И те и другие имеют следующие конструктивные элементы: верхний свод, опирающийся на стены с фундаментами. У обделок с боковым давлением фундаменты стен расперты обратным сводом. В отличие от верхнего свода, обратный свод препятствует выпиранию грунта снизу. Стены, являясь криволинейными, передают боковое давление грунта сводам, упертым в породу. Вся обделка при обратном своде является замкнутым кольцом, которое сопротивляется всестороннему давлению на него окружающего грунта. Толщина обделок для различных ожидаемых давлений грунтов изменяется от 0,4 до 1,1 м для однопутных тоннелей и от 0,5 до 2,1 м — для двухпутных. Для условий, когда давление грунта только вертикальное, конструкция обделки не имеет обратного свода. Тоннели, построенные до 1930 г., в верхней боковой части негабаритны, так как они строились без уширения обделки на криволинейных участках пути. С 1930 г. габарит на кривых участках пути уширяется в зависимости от радиуса кривой и возвышения наружного рельса.

Между габаритом и внутреннем очертанием обделки в верхней части с одной стороны оставляется свободное пространство размером 10—15 см, обеспечивающее запас на неточность строительных работ, а с другой стороны — размером 30—35 см для размещения за пределами габарита «С» устройств сигнализации, связи, светильников, кабелей. На кривых участках пути размеры габарита приближения строений увеличиваются, а для двухпутных тоннелей увеличивается и расстояние между осями путей.

Монолитные обделки применяются при горном способе сооружения тоннелей, устраиваются они из камня, бетона, набрызг-бетона или железобетона (рис. 10.11). Бетонная обделка по сравнению с каменной обладает боль-

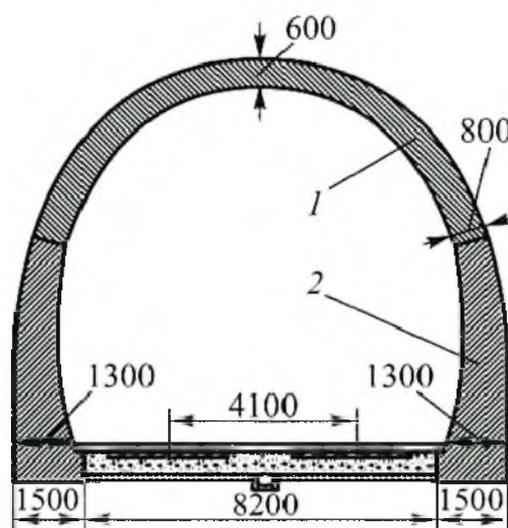


Рис. 10.11. Монолитная обделка двухпутного тоннеля:
1 — свод; 2 — стены

шей плотностью и водонепроницаемостью; процессы, связанные с бетонированием, могут быть полностью механизированы. Необходимость немедленного восприятия обделкой горного давления в некоторых случаях требует применения быстротвердеющих цементов. Монолитная обделка по длине тоннеля разделяется сквозными швами на отдельные звенья длиной от 2 до 10 м, чаще длиной 6—8 м. Каждое звено имеет свой номер, под которым оно значится при постройке и в эксплуатации.

Сборная обделка. В качестве материала сборных обделок используют чугун, сталь, железобетон и бетон. Элементы сборной обделки изготавливают в заводских условиях в виде специальных блоков — тюбингов. Каждый тюбинг представляет собой четырехугольную плиту, изогнутую в соответствии с кривизной обделки, с фланцами по периметру плиты; в фланцах имеются отверстия для болтов. Сболчивание тюбингов осуществляется специальными гайковертами. Из тюбингов образуется цилиндрическая конструкция обделки. В тюбингах имеются отверстия для нагнетания за обделку цементного раствора, закрываемые пробками с резьбой (рис. 10.12).

Ширина тюбингов колеблется от 0,4 до 1 м, длина тюбинга превышает 2 м.

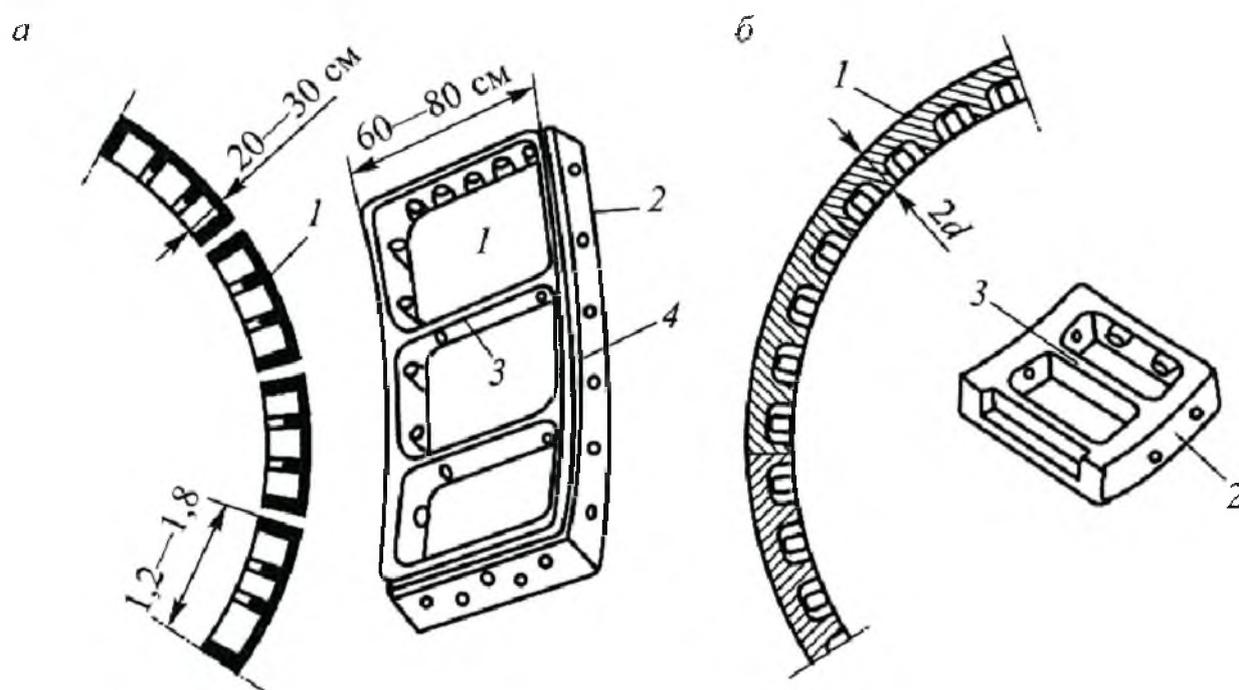


Рис. 10.12. Сборная обделка из тюбингов:
а — металлических; *б* — железобетонных; *1* — стенка; *2* — борт; *3* — ребро;
4 — желобок; $2d$ — толщина тюбинга

Сталь применяется в конструкциях сборных обделок редко и в сочетании с бетоном, защищающим ее от коррозии. Железобетонные сборные обделки стали основными в тоннелях, сооружаемых щитовым способом (рис. 10.13). Они значительно дешевле чугунных и не уступают им по большинству показателей, кроме водонепроницаемости. Ширина железобетонных тубингов 0,75—1,0 м, толщина 20—30 см, длина 1,5—2,0 м. Толщина бортов тубингов 10 см. Вес тубинга 0,5—0,6 т. Между собой тубинги, как и чугунные, соединяются болтами. Гидроизоляция швов, уплотнение отверстий для болтов, нагнетание цементного раствора за обделку производятся так же, как и у чугунных тубингов.

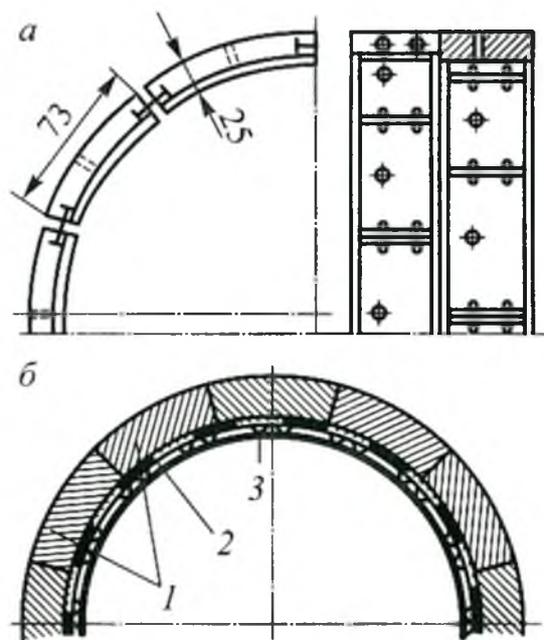


Рис. 10.13. Сборная обделка из блоков:
а — железобетонных; *б* — бетонных; *1* — блок; *2* — изоляция; *3* — железобетон

Железобетонные и бетонные сборные блоки обделок представляют собой криволинейные элементы прямоугольного сечения в виде плит весом 1,0—1,3 т. Блоки изготавливаются из бетона высоких классов, укладываются блоки с перевязкой швов, заполняемых цементным раствором. Для нагнетания за обделку цементного раствора в блоках имеются отверстия диаметром 4—5 см.

10.3. Порталы, ниши и водоотводные сооружения в тоннелях

Порталы обеспечивают устойчивость лобового и боковых откосов подходных выемок, предохраняют путь от осыпания грунта и камней, служат для отвода воды, стекающей с лобового откоса, и для архитектурного оформления входа в тоннель. Порталы устраиваются из камня, бетона или железобетона. Лицевые грани портала облицовываются камнем твердых пород различной обработки.

Ниши устраивают в боковых стенах тоннеля для укрытия людей, работающих в тоннеле во время прохода поезда, а камеры — для хранения инструментов и материалов.



Рис. 10.14. Портал тоннеля:
1 — портал

В железобетонных тоннелях ниши устраивают в шахматном порядке через каждые 50 м. Камеры располагаются с одной стороны на расстоянии 300 м друг от друга. В тоннелях круглого сечения вместо ниш устраивается тротуар шириной не менее 0,7 м (рис. 10.14, 10.15, а, б).

Водоотводные устройства. В тоннелях для отвода подземных вод на уровне пят свода у подошвы обделки делают дренажные отверстия, располагаемые на определенном расстоянии друг от друга. При длине тоннеля более 300 м для выпуска воды из тоннеля сооружается лоток. Лотки устраиваются либо по оси тоннеля, либо сбоку. В настоящее время обделка тоннелей возводится водонепроницаемой, что достигается устройством гидроизоляции.

Гидроизоляция служит для предотвращения проникания в тоннель подземных вод. За обделку тоннеля нагнетается цементный раствор, чем достигается заполнение пустот между тоннельной конструкцией и породой, а также химическое закрепление и уплотнение окружающей породы. Нагнетание раствора (цемента) производится через специальные скважины, заранее предусмотренные в обделке. Для нагнетания за каменную и бетонную обделку применяются цементно-песчаные растворы, состав которых назначается в зависимости от притока грунтовых вод. Кроме того, применяется устройство оклеенной гидроизоляции по внутренней поверхности тоннеля. Для понижения уровня грунтовых вод

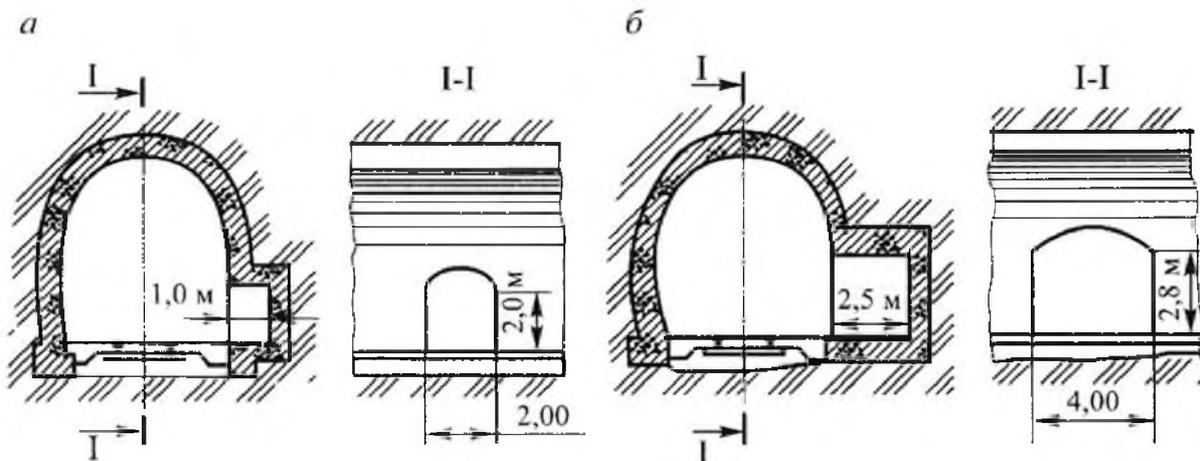


Рис. 10.15. Укрытия в тоннелях:
1 — ниши; 2 — камеры

в скальных породах применяются различные дренажные устройства: горизонтальные штольни, выработки в виде колодцев и др. Дренажи располагаются как с одной стороны обделки тоннеля, так и с обеих сторон.

Вентиляция. Оценка доброкачественности воздуха в тоннеле производится по содержанию в нем углекислоты CO_2 . Если содержание CO_2 не превышает 0,4 %, то воздух считается хорошим, а при 1,1 % и выше — неудовлетворительным, требующим устройства вентиляции. Вентиляция может быть естественной и искусственной.

Естественная вентиляция в тоннелях длиной до 1 км происходит вследствие разницы температур тоннельного и наружного воздуха. На естественную вентиляцию влияют следующие факторы: рельеф окружающей местности, расположение тоннеля относительно направления господствующих ветров, продольный профиль тоннеля. Односкатные тоннели проветриваются лучше, чем двускатные, в средней части которых задерживается загрязненный воздух.

Искусственная вентиляция может быть приточной, вытяжной и смешанной. Приточная вентиляция осуществляется при помощи специальных вентиляционных ходов (каналов, галерей, трубопроводов), устраиваемых за обделкой. Через определенные расстояния вентиляционный ход имеет выпуск в тоннель. Свежий воздух, нагнетаемый вентиляторами у портала, вытесняет загрязненный воздух. При вытяжной вентиляции загрязненный воздух отсасывается из тоннеля вентиляторами, благодаря создающемуся вакууму образуется естественный поток свежего воздуха из порталов. Отсасывание загрязненного воздуха чаще всего производится через шахты. Смешанная вентиляция включает в себя элементы приточной и вытяжной вентиляции (приточно-вытяжная).

Освещение. В железнодорожных тоннелях длиной более 300 м, расположенных на прямой, и в тоннелях длиной свыше 150 м, расположенных на криволинейных участках, устраивается постоянное электрическое освещение, обеспечивающее на уровне подошвы рельса достаточную видимость. Во время производства внутритоннельных работ включаются переносные лампы, для чего на стенах тоннеля через каждые 50 м устанавливаются штепсельные розетки. Для постоянной сети допускается напряжение до 250 В, а для переносных ламп — 24 В. Для быстрой ориентировки рабочих во время прохода поезда все ниши и камеры окрашиваются в белый цвет, а на обделку над ними ставятся мигающие электролампы, чтобы их было легче обнаружить и быстрее укрыться при подходе поезда. О приближении поезда рабочие оповещаются звуковой и свето-

вой сигнализацией. Условием правильной работы такой сигнализации является подача ею сигналов во всех случаях повреждения или перерыва в электропитании. Обеспечение безопасности движения поездов достигается работой устройств по освещению тоннелей, оповестительной и заградительной сигнализацией, в том числе пожарной, работой противопожарных установок, телефонной связи и т.д. Очень важным в эксплуатации тоннелей является проверка очертаний тоннельной обделки (геомониторинг), которая осуществляется с помощью габаритной рамы или способом с использованием транспортира. Самый совершенный способ измерения поперечного сечения тоннеля — с помощью габаритомера инженеров К.Д. Савина и О.С. Шебякина. Установка состоит из специального источника света и кинокамеры. Оборудование размещается в конце прицепа, который перемещается по тоннелю со скоростью 3—5 км/ч.

10.4. Краткие сведения о метрополитенах

Метрополитеном называется городская электрическая железная дорога, проходящая, как правило, под землей в тоннелях. Метрополитен служит для быстрой перевозки больших масс пассажиров и строится в крупных городах с населением более миллиона человек и с интенсивным движением наземного транспорта. Метрополитен включает в себя: тоннели с обычным железнодорожным путем; станции с наземными и подземными вестибюлями, лестницами и эскалаторами для подъема и опускания пассажиров; вентиляционные установки; отопительные устройства, насосные станции; тяговые и понизительные подстанции, депо и мастерские для стоянки и ремонта вагонов.

Тоннели метрополитенов глубокого заложения возводятся круглого и сводчатого профиля. Тоннели мелкого или полужакрытого типа имеют прямоугольное поперечное сечение. Тоннели метрополитена выполняются с бетонной, железобетонной и чугунной обделкой.

При постройке метрополитена на месте сооружения каждой станции и каждого перегона сначала разрабатывают шахтные стволы, используемые впоследствии для вентиляции. Шахты размещают в стороне от трассы и соединяют с тоннелями подходными выработками, которые в процессе строительства используются для транспортных целей, а затем для размещения вентиляционного оборудования. В местах примыкания подходных выработок к оси будущих тоннелей возводятся камеры, в которых монтируются проходческие щиты и другое оборудование для разработки грунта и устройства обделки. В трудных геологических условиях

(плывуны, водоносные грунты) применяются специальные методы сооружения тоннелей: горизонтальная проходка под сжатым воздухом (кессонные работы), предварительное искусственное закрепление грунтов (силикатизация, цементация, замораживание). Станции метрополитенов отличаются большим разнообразием конструктивно-технологических и архитектурно-планировочных решений в зависимости от их расположения на линиях метрополитена, количества пропускаемых пассажиров, глубины заложения и инженерно-геологических условий. В 1960-х гг. в Советском Союзе разработана уникальная технология сооружения тоннелей щитовым способом с монолитно-прессованной бетонной обделкой. В 1980-х гг. при строительстве перегонных тоннелей метрополитенов в сложных гидрогеологических условиях стали применять высокоточную водонепроницаемую обделку. Технология изготовления таких обделок обеспечивает получение элементов из водонепроницаемого бетона с высокой степенью точности ($\pm 0,5$ мм), а герметизация стыков достигается применением специальных резиновых прокладок, устанавливаемых по всему периметру сборного элемента. Наиболее сложными среди конструкций обделки транспортных тоннелей являются обделки станций метрополитенов глубокого заложения; большинство таких станций имеют трехсводчатую обделку. В наиболее сложных геологических условиях применяется конструкция пилонного типа, при которой станционные тоннели располагаются на определенном расстоянии друг от друга, а между ними остаются целики породы (пилоны); тоннели объединяются между собой проходами (рис. 10.16). В конструкции колонно-

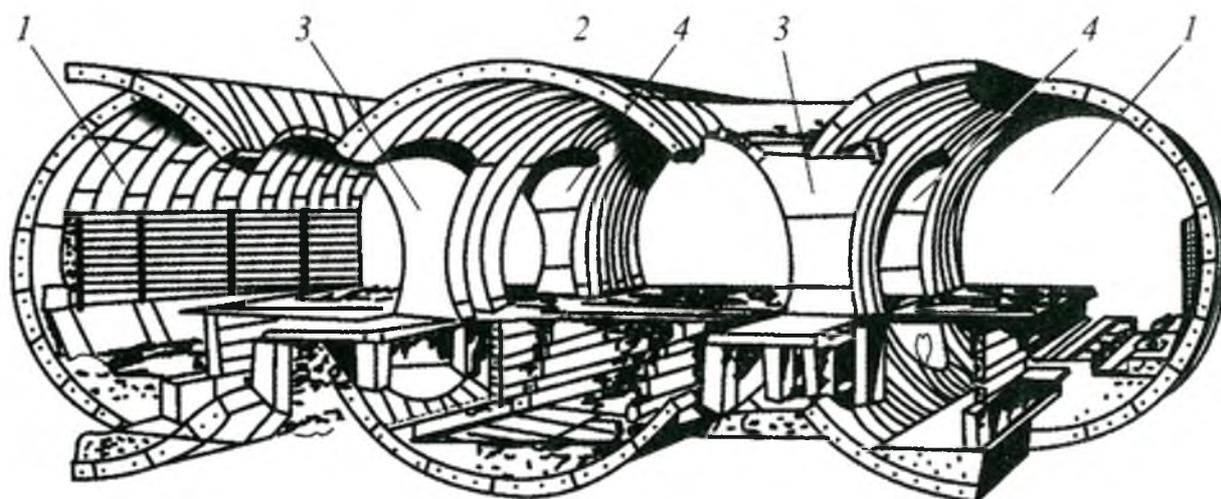


Рис. 10.16. Конструкция пилонной станции метрополитена:

1 — путевые тоннели станции; 2 — тоннель вестибюля станции; 3 — целики породы — пилоны; 4 — проходы, соединяющие между собой тоннели станции

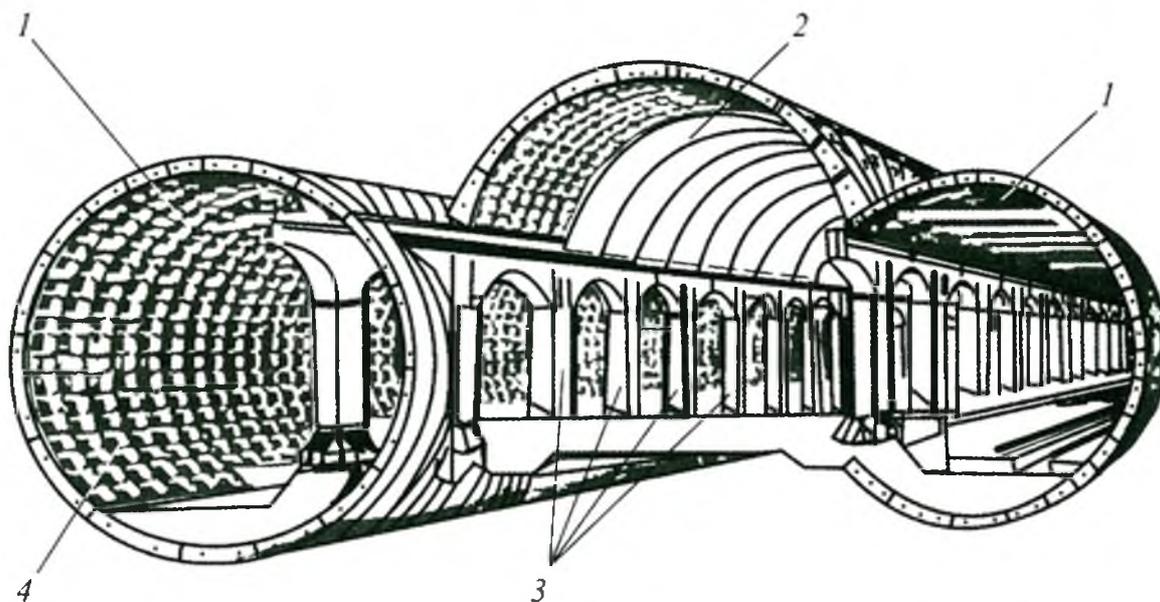


Рис. 185. Конструкция колонной станции метрополитена:
 1 — станционные боковые тоннели; 2 — средний станционный тоннель;
 3 — колонны; 4 — тубинги обделки

го типа свод среднего тоннеля пересекается со сводами боковых тоннелей, а нагрузка, собираемая со свода, передается на колонны (рис. 10.17). В последние годы XX в. широкое применение на строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге и позднее в Москве получили односводчатые станции глубокого заложения. В этой конструкции свод обделки представлен многошарнирной аркой, предварительно напряженной обжатием в грунтовой массе.

Раздел 3

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Глава 11

СОДЕРЖАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ. ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ИХ СЛУЖБЫ

11.1. Общие положения

Назначение искусственных сооружений — быть надежной опорой и защитой пути для безопасного и бесперебойного движения поездов. Построенные сооружения в установленном порядке передаются эксплуатационным организациям. Приемка сооружения оформляется актом, в котором содержатся сведения о конструкции, объеме выполненных работ, качестве применяемых материалов, допущенных отклонениях, результаты осмотра и испытаний. Вся техническая документация предъявляется приемочной комиссии, а после оформления приемки передается организации, которая будет эксплуатировать сооружение. На железных дорогах Российской Федерации искусственные сооружения находятся в ведении службы пути соответствующих дорог. В службах пути отдельных дорог имеются отделы искусственных сооружений. На линии работой по эксплуатации искусственных сооружений руководят начальники дистанций пути и их заместители, дорожные и мостовые мастера; работы выполняются мостовыми, тоннельными и путевыми бригадами.

Состав работ и распределение обязанностей путевых работников указаны в Инструкции по содержанию искусственных сооружений ЦП628-1999.

Для обеспечения безопасности движения, своевременного обнаружения и устранения неисправностей в сооружениях осуществляется их текущее содержание и ремонт. Текущее содержание включает в себя обеспечение систематического надзора на протяжении всего периода

эксплуатации сооружения, текущие и периодические осмотры, обследования и испытания, специальные наблюдения и осмотры. При этом ведется наблюдение за состоянием пути на искусственных сооружениях, отводом воды, чистотой сооружения и пожарной безопасностью.

Текущий осмотр проводится для наблюдения за общим состоянием сооружения, для выявления дефектов и объемов работ по их устранению, для контроля выполняемых работ и инструктирования работников, ведущих постоянный надзор. Деревянные мосты и тоннели осматриваются не реже 1 раза в месяц, остальные искусственные сооружения — не реже 1 раза в 2 месяца. В результате текущего осмотра выявляются дефекты, требующие немедленного устранения, и определяются объемы ремонтных работ.

Данные текущего осмотра сооружения заносятся бригадиром пути и дорожным мастером в книгу проверки пути и стрелочных переводов, а старшим дорожным мастером и мостовым мастером — в книгу искусственных сооружений.

Периодический осмотр проводится не реже 2-х раз в год (после пропуска весенних вод и окончания ремонтных работ). Детальный осмотр всех элементов сооружения с инструментальной съемкой плана и профиля главных ферм пролетных строений, выявлением дефектов конструкций и назначением мер по их устранению, проверка качества выполненных работ производятся под руководством начальника дистанции пути или его заместителя не реже 1 раза в год. Наиболее сложные и ответственные сооружения, а также имеющие серьезные дефекты обследуются мостоиспытательными станциями, которые производят расчет прочности сооружения, измеряют напряжения, прогибы, перемещения, колебания, осадки в различных частях сооружения от испытательной нагрузки, дают заключение о необходимом ремонте и условиях эксплуатации.

При капитальном ремонте и усилении сооружений заменяются дефектные пролетные строения и все мостовые брусья, устраиваются смотровые приспособления, устраняется негабаритность, возобновляется окраска и гидроизоляция, усиливаются отдельные слабые элементы, цементируется кладка опор и выполняются другие работы.

Для эксплуатируемых искусственных сооружений установлены три вида технической документации: карточка, книга и дело искусственного сооружения. Карточки и книги содержат технические характеристики, основные данные о сооружении; они ведутся мостовыми мастерами. На

дистанции пути или в службе пути ведется дело искусственного сооружения, в котором содержатся все технические материалы по данному сооружению.

Для оценки технического состояния сооружения установлены четыре категории неисправностей:

- нулевая категория (сооружение не требует ремонта);
- первая категория (сооружение имеет неисправности, устранение которых возможно при текущем содержании);
- вторая категория (сооружение требует капитального ремонта);
- третья категория (сооружение требует неотложных работ по замене или переустройству).

Для пропуска ледохода предусматриваются меры по предотвращению повреждения опор льдом, образования заторов льда и размыва русел рек. До начала ледохода подготавливаются инструмент, инвентарь и материалы. Перед ледоходом лед вокруг опор окалывается в виде ленточных прорубей шириной 0,5 м. В местах, где возможны заторы льда, устанавливается непрерывное дежурство рабочих с баграми, а также дежурство взрывников с готовыми к употреблению зарядами взрывчатых веществ.

Противопожарное оборудование на мостах и меры по защите конструкции от возгорания применяются согласно действующим нормам. На деревянных, металлических и железобетонных мостах, где путь уложен на мостовых брусьях, устанавливаются противопожарные средства в виде кадок с водой вместимостью 200 л, ящиков с песком вместимостью 0,25 м³, огнетушителей, гидропультов и других приспособлений. Эти средства устанавливаются в определенном порядке и количестве, согласованном со службой пожарной безопасности дороги.

Для безопасности обслуживающего персонала на мостах длиной более 50 м устраиваются площадки, располагаемые в шахматном порядке через 50 м.

На путепроводах и пешеходных мостах, расположенных над электрифицированными путями, устанавливаются вертикальные предохранительные щиты (сетки) для ограждения частей контактного провода. На пешеходных мостах и путепроводах, расположенных в населенных пунктах, и на мостах длиной более 300 м устраивается электрическое освещение.

Мосты через судоходные реки оборудуются судоходной сигнализацией. Высоковольтные линии электропередач, газопроводы, нефтепро-

воды располагать на мостах запрещается. Из коммуникаций укладывать на мостах разрешается линии связи, иногда сети теплофикации и водопровода.

11.2. Эксплуатация массивных опор

В процессе эксплуатации массивных опор мостов (каменных, бетонных, и железобетонных) обязательным является наблюдение за их состоянием, что позволяет своевременно обнаруживать появляющиеся дефекты: выветривание, трещины, выщелачивание, застой воды на подферменных площадках, растрескивание сливов, сколы и др.

Простейшие наблюдения за трещинами могут вестись с помощью цементных «маяков»; более точные наблюдения за изменением ширины трещин ведутся с помощью лупы со шкалой, микроскопа с делениями, тензометра, индикатора, трещиномера, штангенциркуля, пластинок с делениями. Все обнаруженные трещины зарисовываются на эскизных чертежах конструкции с указанием времени появления трещин, даты и температуры воздуха, при которой измерялась величина раскрытия трещины (рис. 11.1, 11.2). На самом сооружении масляной краской отмечаются границы распространения трещины. При наличии выкрошившихся швов или трещин паводковые и дождевые (при косом дожде) воды проникают в кладку, выщелачивают раствор и ослабляют прочность кладки опоры. Все трещины во избежание попадания в них воды заделываются полимерцементным или другим раствором.

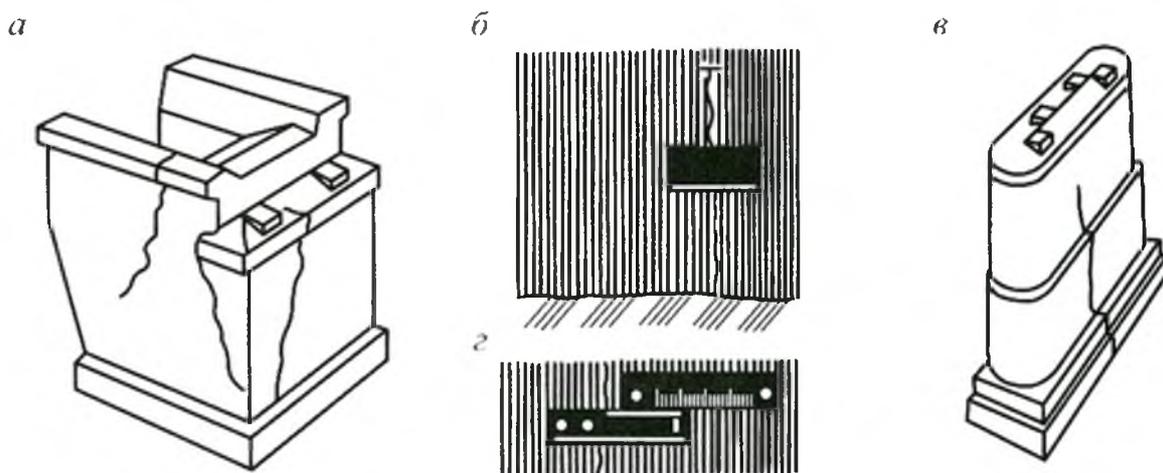


Рис. 11.1. Некоторые виды трещин в кладке опор:

а — трещины под подферменниками в шкафной части устоя; *б* — наблюдение за трещиной в кладке опоры; *в* — трещина в кладке промежуточной опоры (быке); *г* — установка маяков для наблюдения за трещиной в кладке опоры

Подферменные площадки должны содержаться в чистоте и в полной исправности. Одним из признаков неисправности подферменных площадок является появление следов выщелачивания раствора кладки в виде белых потеков и влажных пятен на опорах ниже карниза. В устоях выщелачивание может быть вызвано отсутствием или неисправностью гидроизоляции балластного корыта и неудовлетворительным состоянием дренажа. За дефектными подферменниками должно быть установлено соответствующее наблюдение. В дефектных опорах иногда может наблюдаться неравномерная осадка — наклон (крен). Такие деформации вызываются различными причинами: недостаточной глубиной заложения фундамента, подмывом опор. Деформацию легко заметить по положению рельсового пути над опорой. Крен опоры вызывает искривление рельсовых нитей в плане. При наличии явлений, указывающих на деформацию, за опорами устанавливается тщательное наблюдение путем периодической нивелировки подферменников. Наблюдение за креном опоры можно вести при помощи теодолита, отвеса, двух взаимно перпендикулярных уровней и другими способами. Опоры могут повреждаться и ниже уровня воды. К таким повреждениям относятся: вывал облицовочных камней, нарушение обшивочных швов, разрушение бетонной поверхности опоры с оголением арматуры и др.

Так как обрезы фундамента многих опор заложены на глубине 0,5—1,5 м от меженного горизонта, то для их осмотра пользуются ящиком со стеклянным дном. Ящик укладывается стеклом на воду, чем снимается рябь и блики с воды, видимость резко улучшается; иногда через стекло производится фотографирование дефектов опоры.

Ремонт и усиление опор. Ремонт кладки опор включает в себя: расшивку выкрошившихся швов, заделку трещин, смазку сливов, штукатурку выветрившихся поверхностей, частичную перекладку.

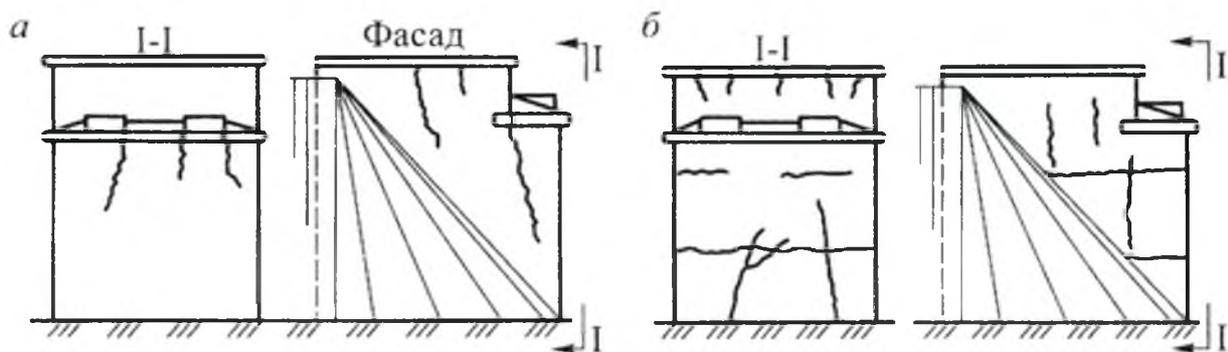


Рис. 11.2. Дефекты в массивных опорах:
a — под подферменниками; *б* — в шкафной части устоя

Расшивка (зачеканка) выкрошившихся швов облицовки производится цементным раствором 1:2. Все дефектные швы облицовки тщательно расчищаются на глубину 5—6 см и промываются водой под напором. Раствор наносится на шов и разделяется специальным инструментом — расшивником. Швы расшиваются (углубляются) на 6—10 мм.

Заделка стабильных трещин производится полимерцементными растворами или краской. Предварительно поверхность с трещинами очищают механическими щетками, скребками и продувают воздухом, после этого наносятся полимерцементные покрытия при помощи краскораспылителей или кистей.

Ремонт сливов на подферменных площадках делается цементным раствором состава 1:2. Все неровности и углубления выравниваются раствором.

Ремонт облицовки заключается в замене отдельных негодных камней на новые облицовочные камни с расщебенкой пустот и с заливкой их цементным раствором. Выветрившаяся облицовка ремонтируется посредством штукатурки по металлической сетке из проволоки диаметром 2—4 мм и ячейками 5—10 см. Поверхность выветрившейся облицовки очищается, на ней производится насечка, в швы облицовки забиваются костыли, к которым и крепится сетка. Слой штукатурки из цементного раствора составом 1:2 наносится толщиной 2—3 см.

Перекладка опор мостов производится при неудовлетворительном их состоянии: большом количестве глубоких трещин, наклоне шкафной стенки, развале обратной стенки, отколе передней стенки и др. Эта работа производится при устройстве разгрузочного моста, на который переводится движение. Старая кладка с негодным раствором разбирается, новая кладка устраивается с правильной перевязкой швов.

Железобетонные пояса для усиления кладки опор мостов делаются высотой 1,0—1,5 м и толщиной 25—40 см. Арматура пояса прикрепляется к кладке опоры металлическими штырями диаметром 20—25 мм. Пояса выполняются из бетона класса не ниже В15 в опалубке. В случае необходимости поверхность опоры между поясами штукатурится по металлической сетке (рис. 11.3).

Железобетонные рубашки (оболочки) применяются для усиления кладки опор на всю их высоту. По условиям бетонирования в опалубке толщина оболочки делается не менее 12—15 см. Оболочки армируются металлической сеткой, прикрепленной к штырям, заделанным в кладку. Штыри диаметром 12—20 мм заделываются в шпурах, про-

буренных в кладке на глубину не менее 8—10 диаметров штыря. Сетка размерами ячеек 10—20 см изготавливается из проволоки-катанки диаметром 5—10 мм и привязывается к штырям вязальной проволокой. Нижняя часть оболочки упирается в обрез фундамента, а верхняя доходит до карнизных (кордонных) камней.

Усиление подферменников в случае появления в них трещин выполняется посредством постановки металлических хомутов или устройством железобетонных обойм.

Цементация заключается в нагнетании под давлением цементного молока в трещины кладки через пробуренные в ней скважины. Скважины размещаются в шахматном порядке на расстоянии 0,9—1,5 м друг от друга. Направление скважин наклонное, под углом 10° к горизонту. Глубина скважин зависит от размеров сооружения. Скважины промываются водой под давлением 2—4 атм, после чего продуваются сжатым воздухом (2 атм). Для цементации применяется цементное молоко без примеси песка состава 1:10 до 1:1 (от 10 до 100 частей цемента на 100 частей воды по весу). Цемент марки не ниже 300. Кроме цемента и воды, в состав входят пластифицирующие добавки (0,2—0,25 % сульфата-спиртовой барды или 0,075—0,1 % мылонафта).

Усиление подводной части опоры может осуществляться с помощью устройства водонепроницаемых перемычек, забивки металлического шпунта, опусканием ряжевых или металлических оболочек, внутри которых после удаления воды производится усиление кладки опоры (железобетонные рубашки, инецирование кладки) (рис. 11.4). По окон-

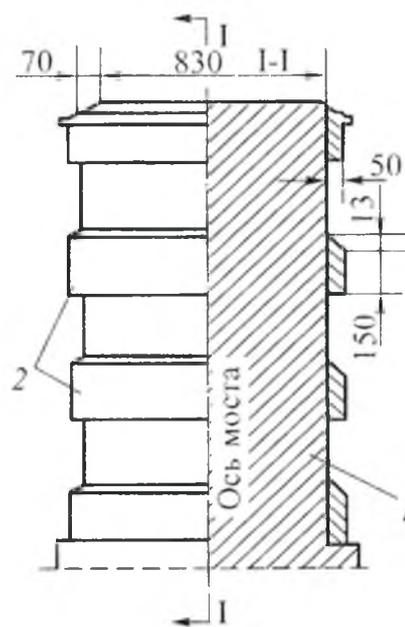


Рис. 11.3. Усиление опоры железобетонными поясами: 1 — кладка опоры; 2 — железобетонные пояса

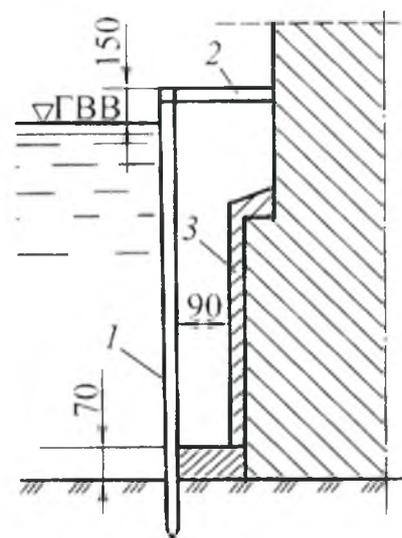


Рис. 11.4. Усиление подводной части кладки опор: 1 — шпунтовая перемычка; 2 — распорка; 3 — железобетонная рубашка

чании работы переемычки разбираются. Ремонт подводной части опоры может производиться и без устройства переемычек, путем опускания железобетонной или металлической оболочки и бетонирования пространства между оболочкой и опорой подводным способом.

11.3. 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 вы-

полняется 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 крупно-фракционный 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 получают 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.

11.4. 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 ме-

талла 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 пролет-

ного 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.

11.5. Эксплуатация деревянных мостов

В деревянных мостах наиболее подвержены загниванию плоскости сопряжений в узлах и врубках, торцы прогонов, закладные щиты, а так же элементы, находящиеся в зоне переменной влажности, в конусах насыпи. Гниль возникает в местах, где скапливается атмосферная влага, нет проветривания и быстрого высыхания. В конусах насыпи загнивание деревянных элементов опор распространяется примерно на 20 см выше уровня земли. Глубина поражения гнилью древесины, находящейся в земле, составляет 0,5—0,7 м и зависит от уровня грунтовых вод. В глинистой почве древесина сохраняется лучше, чем в песчаной. Деревянные элементы мостов необходимо периодически осматривать с обнажением на глубину до 1 м всех элементов, находящихся в грунте. После осмотра очаги гнили стесываются, а обнаженная здоровая древесина антисептируется. Кроме надзора за сопряжениями элементов и состоянием древесины, ведутся наблюдения за состоянием опор. Наклоны опор в продольном и поперечном направлении могут быть обнаружены визуально, а величина наклона измерена с помощью теодолита или отвеса.

Осадкам и наклонам наиболее подвержены рамно-лежневые и ряжевые опоры. Осадка и наклон опор могут происходить в результате подмыва грунта. Если наклон рамной или свайной опоры превышает 1/100 ее высоты, требуется выправление и подкрепление опоры. Выпрямление осуществляется тросами и лебедками (тяговой и тормозной). Выпрямление ряжевой опоры может быть достигнуто перераспределением загрузки; для этого нужно осевшую часть опоры разгрузить, а поднявшуюся — пригрузить.

Основным видом ремонта деревянных мостов является замена поврежденных гнилью элементов (свай, насадок, прогонов, схваток). Обработка древесины при ремонте выполняется механизированным способом с помощью ручного переносного электрического инструмента. Все вновь устанавливаемые элементы должны быть антисептированы. О характере работ в условиях эксплуатации можно судить на примерах замены отдельных элементов: коренной сваи, насадки, прогона. Каждый из этих элементов воспринимает нагрузку от поезда и постоянную на-

грузку, поэтому сама замена такого элемента возможна лишь в «окно» (с закрытием перегона), а подготовка к ней и завершение работ — в интервале между поездами. Новые элементы по длине и размерам поперечного сечения должны быть точно такими же, как заменяемые. Их заготовка, включая сверление отверстий под болты, производится заблаговременно. Конструкция сопряжений нового элемента с остальными восстанавливается прежняя. Для замены таких элементов, как прогон, насадка, устраиваются подмости с настилом в уровне заменяемых элементов. На подмостях перпендикулярно оси моста укладываются рельсы или лаги из бревен для поперечной надвигки прогона; старые прогоны приподнимаются домкратом и сдвигаются лебедками на расположенные рядом подмости, одновременно с этим на место старых прогонов лебедками надвигаются новые прогоны. Одиночная замена прогона возможна продольной надвигкой поверху моста. Возможна замена прогонов вместе с мостовым полотном при помощи кранов. Закладной щит наиболее подвержен гниению, так как расположен всецело в грунте, поэтому его приходится устанавливать заново. Для этого забиваются новые сваи рядом со старыми и в плоскости прежнего щита. Старый щит устанавливается в нормальное положение забивкой клиньев между щитом и торцами прогонов. Сваи при требуемой глубине погружения до 2,5 м могут забиваться вручную деревянной «бабой». Забивка каждой сваи производится в «окно». Чтобы не закрывать перегон для производства работ, место работ на длине 2 м перекрывается пакетом из рельсов (по два рельса Р-50 под каждый рельс пути). Монтаж и демонтаж пакета производится полупакетами с помощью дрезины АГМ в «окно» продолжительностью 1—2 часа или поэлементно вручную.

11.6. Эксплуатация труб и тоннелей

В сборных и монолитных трубах особое внимание уделяется кладке труб и оголовков, положению звеньев, состоянию и укреплению русла на подходе и выходе из трубы, достаточности водопропускного отверстия. При появлении в кладке труб трещин выясняются причины их образования. Трещины могут появиться от давления грунта насыпи, неравномерной осадки фундамента или от динамического воздействия временной нагрузки при малой толщине насыпи над трубой. Порядок наблюдения за трещинами тот же, что в массивных опорах и мостах. При обнаружении в трубах трещин и других дефектов выполняется соответствующий ремонт трубы, при необходимости производится цемен-

тация кладки или торкретирование поврежденной поверхности. В случаях появления значительных трещин производится временное укрепление трубы подпорками, рамами, кружалами, но это стесняет отверстие и затрудняет проход воды, создает угрозу закупорки трубы, поэтому такие трубы должны ремонтироваться в первую очередь. Все раскрывшиеся швы звеньев трубы должны быть законопачены просмоленной паклей и жестким цементным раствором. Лоток в просевшей части трубы выравнивается цементным раствором. Осадка отдельных звеньев трубы может быть выявлена нивелированием, каждый раз по одним и тем же точкам. При недостаточном укреплении основания трубы, особенно входного оголовка, вода может найти себе ход под трубой или сбоку от нее и разрушить как трубу, так и насыпь. Трубы малых отверстий, во избежание заполнения их снегом и обмерзания, закрываются на зиму деревянными щитами или плетнями. Перед наступлением весны щиты убираются, русло расчищается от снега настолько, чтобы можно было беспрепятственно подойти к трубе и выйти из нее. За лотками, дюкерами и водобойными колодцами также устанавливается наблюдение, цель которого — выявлять неисправности, следить за правильным пропуском воды, своевременной очисткой от наносов самих сооружений и русла. Эти наблюдения и ремонт осуществляются так же, как в трубах. Если состояние трубы плохое и ремонт ее нецелесообразен, прочность трубы недостаточна, а усиление ее невозможно, водопропускная способность трубы не обеспечивает пропуск фактического расхода воды, принимается решение о ее переустройстве.

Перекладка трубы или замена ее новой при высоте насыпи до 5—6 м выполняется открытым способом с устройством прорези, перекрываемой пакетом. По окончании работ прорезь постепенно засыпается с тщательным уплотнением грунта, по мере засыпки убираются крепления и снимается пакет. При закрытом способе работ устраивается штольня трапецеидального или прямоугольного очертания по типу тоннельных разработок. В штольне производятся необходимые работы по перекладке трубы, затем штольня засыпается с постепенным удалением креплений.

Эксплуатация тоннелей. Стены и своды тоннельной обделки необходимо регулярно осматривать, а в подозрительных местах выборочно обстукивать молотком. Состояние обделки проверяется с передвижных подмостей, оборудованных площадками и электроосветительной аппаратурой. При обнаружении в обделке дефектов (трещин, отслаивания, разрушения расшивок швов и др.) выясняются причины их возникнове-

ния, принимаются соответствующие меры по их устранению (цементация кладки, перекладка обделки, торкретирование по металлической сетке) (рис. 11.5). Наблюдение за трещинами ведется так же, как и на других сооружениях: при помощи маяков, парных пластинок с рисккой и делениями, штырей, марок. При эксплуатации тоннеля важной работой является проверка габарита, которая производится с использованием различных приспособлений: оптического габаритомера, габаритной рамы, транспорта.

Оптический габаритомер размещается в специальном вагоне тоннельно-обследовательской станции. Габаритная рама соответствует наружному очертанию габарита подвижного состава и монтируется на специальной платформе. Габаритная рама имеет по своему контуру отгибающиеся (на петлях) части, которые при продвижении рамы цепляются за негабаритные места. Транспорт применяется для съемки поперечного очертания тоннельной обделки, изготавливается из фанеры, листовой стали или пластика. Съемка осуществляется замерами расстояния от центра транспорта до определяемой точки на обделке и угла наклона натянутого шнура в данную точку. На состояние конструкций тоннеля оказывает большое влияние вода, которая проникает через гидроизоляцию, выщелачивает раствор и нарушает прочность обделки. За поступающей в тоннель водой ведется наблюдение, выясняются причины ее появления, объем поступающей воды (дебит), кислотность. Лотки и другие водоотводные сооружения должны очищаться от ила и выносов породы. Если вода поступает через обделку, то проводится ряд предупредительных работ: заболоченные места над тоннельной поверхностью осушаются путем устройства дренажей и канав, перехватывающих воду

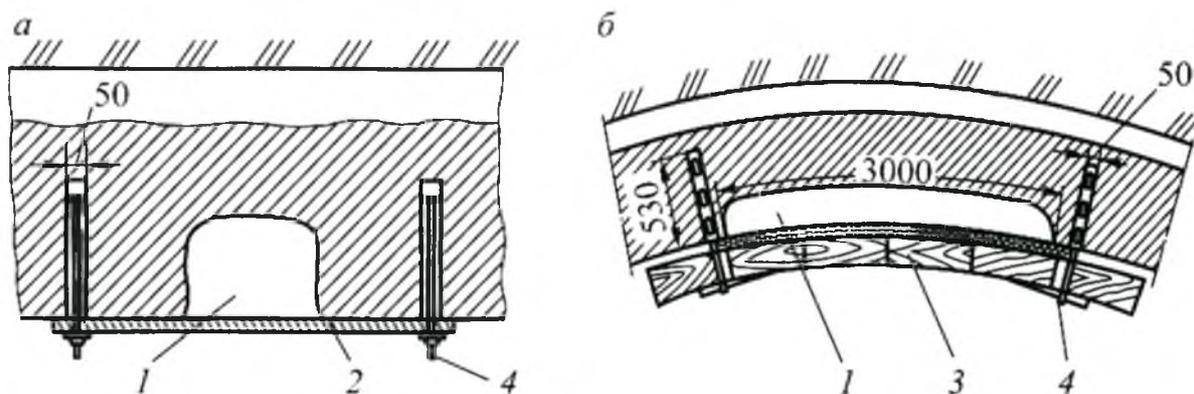


Рис. 11.5. Подкрепление кладки обделки тоннеля:

а — подкрепление обделки опалубкой в стене тоннеля; *б* — подкрепление кладки в своде обделки временными кружалами; 1 — вывал камней; 2 — доска; 3 — опалубка; 4 — болт

на поверхности горного массива. Для лучшего стока воды всем водоотводным и нагорным канавам придается продольный уклон не менее 20 ‰ и соответствующие размеры поперечного сечения. При эксплуатации подпорных стен особое внимание обращается на исправную работу дренажей и правильный отвод воды, кроме того, необходимо следить, чтобы не было смещений и отвалов кладки. Основными работами при ремонте тоннелей являются: ремонт и перекладка обделки, порталов, нагнетание раствора за обделку, торкретирование, ремонт и переустройство водоотводных лотков, устройство дренажа. Перекладка обделки может быть вызвана негабаритностью, выветриванием обделки, необходимостью усиления. Разборка старой кладки и возведение новой выполняется с передвижных подмостей с использованием металлических кружал, которые берут на себя давление горной породы. Бетономешалка и строительные материалы размещаются, как и подмости, на платформах, которые доставляются к месту производства работ мотовозами. Работы производятся в «окно» между поездами.

11.7. Общие условия эксплуатации искусственных сооружений

Порядок надзора, содержания и ремонта

Все искусственные сооружения эксплуатируются на железнодорожной сети согласно Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ЦРБ-756 МПС 2000) и Инструкции по содержанию искусственных сооружений (ЦП-628 МПС, 1999).

Для обеспечения безопасного и бесперебойного движения поездов, своевременного обнаружения и устранения неисправностей ведется постоянный надзор за искусственными сооружениями. Надзор осуществляет весь эксплуатационный штат (от обходчика и бригадира до работников управления дороги), в разные сроки в разных объемах — в зависимости от должности исполнителя и конкретных задач надзора. Основным принципом содержания является предупреждение расстройств и повреждений в сооружениях. Перечни мест, требующих особого внимания при осмотрах, составляются мостовым мастером или мостоиспытательной станцией для каждого сооружения и утверждаются руководством дистанции пути, а по большим мостам и тоннелям — службой пути. Различаются: постоянный (систематический) надзор, текущие и периодические осмотры, обследования и испытания, специальные на-

блюдения. Постоянный надзор ведется обходчиками (путевыми, мостовыми, тоннельными), которые следят за исправным состоянием пути, сооружений, их чистотой, отводом воды, пожарной безопасностью. Обходчики совершают обходы в соответствии с графиком осмотров и работ по уходу, утверждаемому начальником дистанции пути.

Обходчики обязаны: проверять и поддерживать в исправном состоянии путь и мостовое полотно, смотровые приспособления, противопожарный инвентарь, укрепление конусов и откосов насыпей, а в тоннелях — штольни и выходы из них; не допускать скопления воды в нижних поясах ферм мостов; в тоннелях содержать в чистоте и побеленными камеры и ниши; следить за проходом паводка и ледохода; вести наблюдения за горизонтом воды в водотоках. При угрозе безопасности движения поездов обходчики должны оградить опасное место сигналами и принять срочные меры к исправлению повреждений, а при невозможности устранения повреждений — срочно сообщить об этом бригадиру в околоток. Результаты осмотра и перечень выполненных в результате его работ обходчик записывает в журнал обходчика железнодорожных путей и искусственных сооружений.

Текущий осмотр всех частей сооружения, включая подмостовое русло, регулиционные и берегоукрепительные сооружения, ведут бригады пути, дорожные и старшие дорожные мастера, начальники участков в сроки, установленные Инструкцией по текущему содержанию железнодорожного пути ЦЛ-174, а также мостовой (тоннельный) мастер или под его руководством бригадир по искусственным сооружениям в сроки, установленные начальником дистанции пути для каждого сооружения. В те же сроки, что и мостовой мастер, осматривает все большие и средние мосты и тоннели заместитель начальника дистанции пути по инженерным сооружениям. Текущий осмотр заключается в наблюдении за общим состоянием сооружения, выявлении дефектов, определении объемов необходимых работ, в контроле и инструктировании работников, ведущих постоянный надзор. Периодические осмотры производятся начальником дистанции пути (или его заместителем), при участии мостового (тоннельного) мастера, старшего дорожного и дорожного мастеров — не реже двух раз в год (весной и осенью). При периодическом осмотре выявляются дефекты, устанавливаются причины их появления и намечаются способы устранения.

Все наиболее сложные и ответственные сооружения в необходимых случаях подвергаются обследованию или испытанию мостоиспытатель-

ными станциями, которые на основании данных, полученных в результате испытания, дают заключения о проведении необходимых ремонтных работ. Мостоиспытательные станции контролируют устранение наиболее серьезных неисправностей и дефектов.

Текущее содержание имеет своей целью предупреждение появления и устранение неисправностей и дефектов в самом начале их развития. К работам текущего содержания относятся: одиночная замена элементов мостового полотна, подкраска отдельных мест металлических конструкций, замена отдельных слабых заклепок, засверливание и перекрытие трещин в металле и расшивка швов и заделка трещин в кладке, ремонт сливов, исправление конусов. Дефекты, препятствующие нормальной эксплуатации сооружения, т.е. вызывающие ограничение скорости движения поездов или перенапряжение какой-либо части сооружения, должны устраняться немедленно.

Капитальный ремонт сооружения включает полное возобновление окраски и гидроизоляции, сплошную замену мостовых брусьев, усиление слабых элементов конструкций, устранение негабаритности, замену дефектных пролетных строений, перекладку обделки тоннеля. Необходимость и сроки выполнения этих работ определяются на основе детального обследования сооружения. В среднем окраска возобновляется через 6 лет, мостовые брусья меняют через 15 лет, настил — через 5 лет. Отсрочка ремонта ускоряет разрушение конструкции, может привести к серьезным последствиям. Даже незначительное нарушение крепления конусов, дамб, русел хотя бы в одном месте сводит на нет эффективность всего укрепления. Размыв, легко начавшись в слабом месте, быстро и с нарастающей силой распространяется в стороны, разрушая укрепления и защищаемую им часть сооружения.

Планирование и организация выполнения работ

Работы по уходу за искусственными сооружениями разнообразны. В зависимости от характера работ, их объема и сложности они подразделяются на текущее содержание и капитальный ремонт.

Выполнение работ по текущему содержанию входит в обязанности и дорожных, и мостовых (тоннельных) мастеров, каждому в пределах его ведения.

При планировании работ берутся во внимание результаты последних текущих и периодических осмотров, оценки состояния сооружений, предложения мостоиспытательных станций. По результатам текущих осмот-

ров планируются работы текущего содержания. Результаты периодических осмотров (осенних и весенних) используются для планирования работ по текущему содержанию и работ по капитальному ремонту пути в зависимости от выявленных дефектов и неисправностей. При составлении графиков выполнения работ соблюдается следующая очередность: в первую очередь бригада устраняет выявленные неисправности, затем бригада выполняет профилактические работы для предупреждения появления неисправностей и расстройств.

Внезапно возникшие работы по устранению неисправностей, вызывающих угрозу безопасности движения поездов, выполняются в неотложном порядке. Ремонтные работы, связанные с сезонностью, планируются на время, благоприятное для лучшего качества выполнения этих работ.

Техническая документация. На все искусственные сооружения составляется техническая документация, включающая в себя карточки с основными характеристиками сооружения, книги искусственных сооружений с данными об их состоянии. Все технические материалы по сооружениям (чертежи, расчеты, отчеты обследований, данные наблюдения и т.п.) хранятся в «Деле искусственного сооружения» на дистанции или в службе пути.

11.8. Специальные мероприятия

Пропуск ледохода и наводка связаны с опасностью повреждения опор моста движущимся льдом, образования заторов льда и размыва русла реки. Чтобы предотвратить негативные последствия ледохода, заблаговременно проводятся подготовительные работы: заготавливается необходимый инструмент и материалы, окалывается лед вокруг опор, устраиваются прорези в ледяном поле. В случае необходимости ледяные поля взрываются зарядами взрывчатых вещества (ВВ). Для предотвращения повреждения кладки массивных опор примерзшим льдом, околка его производится не только перед ледоходом, но и в зимний период при наличии колебаний уровня воды в реке. Лед окалывается на ширину 0,5 м вокруг опоры. При толщине льда 15—20 см проруби во льду возобновляются. Перед деревянными мостами, кроме околки до ледохода, устраиваются прорези во льду шириной на 0,5 м больше ширины опоры и протяжением около 25 м вверх и вниз по течению. Чтобы околота я полоса не замерзала, она закрывается хворостом и сверху засыпается снегом.

На больших реках со значительным ледоходом выше и ниже моста по течению устраивают большие проруби (майны) для пропуска льда.

Майны делаются за 10—15 дней до вскрытия реки. У малых мостов и труб убирают щиты, очищают русла водотоков от снега и наледей, а при необходимости по руслу в снегу устраивают широкие канавы. Различные материалы, которые могут всплыть при подъеме воды и закрыть отверстие моста или трубы, своевременно убирают. В необходимых случаях лед окалывают и у откосов конусов насыпи и регулиционных сооружений во избежание повреждения их при подвижке льда. Пропуск паводка производится с учетом опыта прошлых лет (уровень воды, скорость течения, возможные размывы).

Особенно тщательно необходимо подготовить к пропуску высоких вод мосты и трубы с недостаточным водопропускным отверстием, трубы, работающие с подпором, мосты с опорами, не защищенными от подмыва, неукрепленные откосы подходных насыпей.

При обнаружении подмыва промоины заполняют камнем, мешками с глиной, габионами и др. Если дно промоины состоит из грунтов, засывающих камень, то предварительно в промоину опускают фашинные тюфяки, служащие подстилкой для каменной наброски. Для малых мостов и труб большую опасность представляют летние паводки. Ливневые паводки отличаются внезапностью, большой скоростью течения и обилием наносов, вследствие чего возможны заторы и закупорки отверстий малых сооружений. Поэтому до наступления ливневых паводков должны быть исправлены все повреждения, возникшие в малых мостах и трубах в период прохода весенних вод, а также очищены от наносов лотки и подходные русла.

Противопожарные средства. Для предотвращения возможности возгорания деревянные, металлические и железобетонные мосты, на которых путь уложен на мостовых деревянных брусках, обеспечиваются противопожарными средствами: бочками с водой емкостью по 200 л, ящиками с песком емкостью по 0,25 м³, огнетушителями, гидропультами и другими специальными противопожарными приспособлениями. На металлических мостах длиной от 10—25 м устанавливается одна емкость с водой на конце моста; при длине более 25 м — по одной емкости на концах моста и по одной на каждые 50 м длины моста. На мостах с деревянными пролетными строениями или деревянными опорами при длине моста от 5 до 15 м — по одной емкости на концах моста. Бочки с водой устанавливаются в специальных нишах, а при отсутствии их — на специальных помостах. Кроме емкости с водой, на всех деревянных мостах длиной более 15 м, а на железобетонных и металлических длиной более

25 м между емкостями с водой в нишах или на помостах ставятся ящики с песком. Возле каждой емкости с водой должно быть ведро или швабра, а возле ящика с песком — лопата или совок. Емкости должны быть наполнены водой, но до наступления морозов их следует освободить от воды. Песок в ящиках должен быть сухим. Охраняемые мосты обеспечиваются химическими огнетушителями, устанавливаемыми через каждые 100 м длины моста, и гидропультами — по одному на каждые 200 м. На стене около моста размещаются ломы, топоры, багры, ведра. Местность под мостом на протяжении 30 м выше и ниже моста очищается от сухого кустарника, валежника, горючего мусора.

Смотровые приспособления. Для обеспечения свободного доступа ко всем частям сооружения, которые необходимо осматривать на близком расстоянии, а также регулярно очищать, устраиваются смотровые приспособления. Части мостов, расположенные над землей на высоте до 5 м, осматриваются и очищаются с переносных лестниц, удовлетворяющих правилам безопасности. Для осмотра частей моста, возвышающихся над землей более чем на 5 м, а также в пролетах, расположенных над водой применяются люльки (рис. 11.6), подмости и другие приспособления. Для осмотра проезжей части мостов снизу используют подвижные тележки, откидные платформы, подвесные подмости, а при отсутствии последних — настил из досок, уложенный по связям и нижним поясам ферм. На мостах с ездой понизу для прохода, осмотра и очистки верхних поясов ферм и связей между ними устраиваются перила по верхним поясам ферм и лестницы по порталным рамам. Для со-



Рис. 11.16. Люлька для ремонта опор

держания и осмотра опорных частей и подферменных площадок при высоте опор (над землей или над водой) более 5 м устраиваются перила вокруг подферменных площадок и лестницы для спуска с проезжей части моста.

Осмотр высоких арочных мостов производится при помощи специальных смотровых приспособлений, подвесных люлек и подмостей. Для осмотров и доступа к трубам устоям и конусам по откосам насыпей устраиваются специальные спуски или лестницы с перилами.

11.9. Выполнение работ на эксплуатируемых линиях

На эксплуатируемых искусственных сооружениях условия для выполнения всех работ по надзору и ремонту крайне ограничены. Во-первых, по времени, так как работать приходится в интервале между поездами и в непродолжительные технологические «окна». Во вторых, по месту, т.е. в габарите рабочих и безопасных зон особенно на электрифицированных участках. В третьих, в условиях ослабления ремонтируемой конструкции. В четвертых, в продолжительности циклов работы, т.е. к пропуску очередного поезда ремонтируемый элемент должен быть приведен в состояние, безопасное для движения. Эти ограничения обусловлены графиком движения поездов и конструкцией самих сооружений. По сравнению с условиями производства работ вне движения поездов, работы на эксплуатируемых линиях требуют более четкой и пунктуальной организации на всех этапах — от подготовки к работам до их завершения. Чтобы не нарушить график работ и установленный порядок пропуска поездов, нужна тщательная подготовка к работам. Необходим прежде всего проект производства работ. Способы производства работ и технология должны соответствовать условиям производства работ и обеспечивать безопасность движения поездов и безопасности работающих, надлежащее качество работ с наименьшими затратами труда и средств. Каждый работающий на своем рабочем месте должен строго соблюдать действующие на железнодорожном транспорте инструкции, правила, установленный порядок работ. Капитальный ремонт эксплуатируемых сооружений выполняется по индивидуальным проектам, разрабатываемым на основе обследования специализированными проектными организациями — Желдорпроектами и институтом Гипротранспуть. Проекты включают конструктивные чертежи и пояснительную записку с разделом по организации работ и схемами вспомогательных устройств, графиками закрытия перегона, сметой стоимости ремонта.

Массовые, многократно повторяемые работы, не зависящие от деталей конструкции (окраска, торкретирование, цементация кладки, расшивка швов и др.) выполняются по дефектным ведомостям, составляемым по результатам весеннего и осеннего осмотров, а способы производства этих работ осуществляются по общесетевым нормативным документам (технологическим процессам и правилам). Проектные организации разрабатывают также типовые решения производства отдель-

ных видов распространенного ремонта, например, по переустройству малых мостов и труб. Типовые решения, как и технологические процессы и правила, со временем пересматриваются с учетом передового опыта и научно-технических достижений. Перечисленная документация (индивидуальные проекты, технологические процессы и правила, типовые решения) охватывает преобладающую часть ремонтных работ, выполняемых в плановом порядке. Для работ, выполняемых мостовой бригадой, необходимая документация составляется на месте — в дистанции пути с участием мостового мастера и с ведома отдела инженерных сооружений службы пути.

Во всех случаях производства работ на эксплуатируемой линии необходима тщательная отработка плана организации и способов производства работ, регламента работы на объекте и режима пропуска поездов, техники безопасности и производственной санитарии. План должен, при выбранных способах и технологии производства, включать весь комплекс: подготовительных, основных и заключительных работ.

В подготовительный период производится заготовка всего необходимого для выполнения работ: материалов, инструмента, механизмов и оборудования, обеспечение энергией, изготовление, комплектация и установка вспомогательных приспособлений и обустройств.

В основной период выполняется весь комплекс целевых работ на объекте ремонта. К основным работам также относится приведение пути и сооружений в эксплуатационное состояние, обеспечивающее пропуск поездов.

К заключительным работам относятся: демонтаж вспомогательных конструкций и обустройств, уборка элементов демонтированных конструкций, неиспользованных материалов, приведение в надлежащий вид объекта и приобъектного участка. План работ оформляется в виде линейного календарного графика с графическим изображением продолжительности выполнения каждой операции. По каждому виду работ должны быть указаны объем и продолжительность работ, состав звена и состав бригады исполнителей.

На весь период ремонта определяется регламент выполнения работ и режим пропуска поездов по ремонтируемому участку, т.е. порядок и скорость следования поездов. Безопасность движения поездов во время работ обеспечивается выполнением работ под руководством ответственных должностных лиц и в соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог РФ (ЦРБ-757 МПС, 2000), Инструкцией по

обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ (ЦП-485 МПС, 1997), Инструкцией по движению поездов и маневровой работе (ЦД-790 МПС, 2000), Правилами и технологией выполнения основных работ по текущему содержанию и ремонту искусственных сооружений, Правилами по технике безопасности и производственной санитарии при производстве работ в путевом хозяйстве. Приступать к работе до ограждения места работ, а при работе в «окно» до получения руководителем работ от поездного диспетчера приказа — запрещено. Руководитель дает распоряжение о начале работ после того, как лично проверит правильность выполненного ограждения.

От качества выполнения ремонтных и строительных работ зависит не только эффективность затраченных сил и средств, но и безопасность, бесперебойность движения поездов, долговечность построенных или отремонтированных сооружений. Надлежащее качество ремонтно-строительных работ обеспечивается, прежде всего, квалифицированным и тщательным выполнением работ по утвержденным проектам, технологическим процессам, техническим указаниям и требованиям к производству работ; применением соответствующих и качественных материалов, техническим надзором, контролем за качеством выполнения работ, соответствующей приемкой в эксплуатацию законченных объектов. Качество текущего ремонта, выполняемого мостовыми (тоннельными) бригадами, контролируется мостовыми (тоннельными) мастерами. Капитально отремонтированные и вновь построенные объекты должны быть проверены. Пригодность их к длительной эксплуатации обосновывается документально. За качеством изготовления конструкций на заводах следит ОТК (отдел технического контроля) и технический инспектор заводской инспекции. Принятая конструкция имеет паспорт, в котором дается ее характеристика. К паспорту прилагаются документы о качестве использованных материалов (сертификаты на металл, акты испытания образцов). На строительной площадке за качеством работ следит представитель заказчика — строительный ревизор от вышестоящей организации. По мере возведения или модернизации каждой части сооружения производится проверка в натуре с участием представителей заказчика и организации, выполняющей работы (подрядчика). Такое освидетельствование оформляется актом, обязательным для всех скрытых работ, т.е. невидимых в готовом сооружении. Законченные ремонтные или строительные работы принимает комиссия. Состав комиссии определяется в зависимости от значимости объекта, объема работ и стоимости

либо управлением дороги, либо отделением дороги. Особо крупные объекты принимаются Государственными приемочными комиссиями, назначаемыми Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» или по его представлению Советом Министров. При приемке детально осматривается сооружение, проверяются в натуре и по исполнительной технической документации объемы и качество выполненных работ, соответствие требованиям Правил технической эксплуатации железных дорог РФ, техническим условиям, утвержденному проекту и смете. Исполнительная документация, помимо актов на скрытые работы, включает в себя чертежи выполненных конструкций, описание способов производства работ, акты испытания материалов, паспорт — карточку с основными данными о сооружении. Натурный осмотр при необходимости дополняется испытаниями сооружения наиболее тяжелой из возможных нагрузок. Результаты приемки комиссия оформляет актом. В акте, кроме описания сооружения, данных осмотра и испытания, объемов, стоимости и оценки качества работ, комиссия дает заключение о возможности приемки сооружения в постоянную эксплуатацию и условиях движения поездов. Приемочный акт утверждается инстанцией, назначившей комиссию. При приемке сооружения в эксплуатацию строительная организация передает службе пути дороги всю техническую документацию: исполнительные чертежи, акты на скрытые работы, журналы производства отдельных видов работ, способов и последовательности монтажа пролетных строений, устройства опор и отсыпки подходов, акты осмотра и испытания кладки, сертификаты на металл и паспорта конструкций заводского изготовления, съемки профилей и планов ферм, замеры положения опорных частей, исполнительные геологические разрезы. Указанная техническая документация хранится в деле искусственного сооружения.

Составление проектов и постройка новых мостов, труб, тоннелей и других искусственных сооружений железнодорожного, автомобильного и городского транспорта выполняется организациями государственного производственного комитета по транспортному строительству. Проектирование мостов, труб и других искусственных сооружений выполняется государственными институтами проектирования (Гипротрансами). Крупные мосты проектируются институтами Гипротрансмост в г. Санкт-Петербурге (бывший Ленгипротрансмост), Мосгипротранс в г. Москве и др. Конструкции мостов и других сооружений изготавливаются на мостостроительных заводах и полигонах. Постройка опор мостов и мон-

таж конструкций производятся мостопоездами и мостоотрядами, подчиняющимися мостостроительным трестам. Тоннели, метрополитены проектируются Метрогипротрансом и сооружаются Главтоннельметростроем.

На железных дорогах все мосты, тоннели и другие искусственные сооружения находятся в ведении дистанций пути, отделений дорог и служб пути дорог. Крупные работы по ремонту и усилению мостов и тоннелей выполняются строительными организациями: мостопоездами и дорстроями. Обследование, испытание крупных мостов и тоннелей, а также контроль за их состоянием осуществляют мостоиспытательные, водолазные, мерзлотные и тоннельные станции Департамента пути и сооружений. Обследование всех остальных искусственных сооружений осуществляют мостоиспытательные станции служб пути дорог.

ПРИЛОЖЕНИЯ

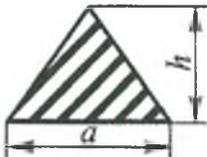
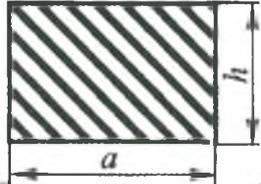
Приложение 1

ОБЩИЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ И СВЕДЕНИЯ

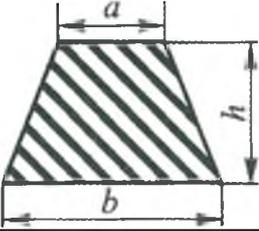
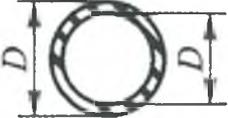
1.1. Наиболее употребительные меры длины, объема, веса и поверхности

| | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1 километр (км) | = 1000 метрам (м) |
| 1 метр | = 100 сантиметрам (см) |
| 1 сантиметр | = 10 миллиметрам (мм) |
| 1 верста | = 1067 метрам |
| 1 сажень | = 2,134 метра |
| 1 аршин | = 71,12 сантиметра |
| 1 дюйм | = 25,4 миллиметра |
| 1 кв. км (км ²) | = 100 гектарам (га) |
| 1 гектар (га) | = 10 000 м ² |
| 1 литр (л) | = 1000 см ³ |
| 1 бочка | = 492 литрам |
| 1 ведро | = 12,3 литра |
| 1 тонна (т) | = 10 центнерам (ц) |
| 1 центнер | = 100 килограммам (кг) |
| 1 килограмм | = 1000 граммам (г) |
| 1 пуд | = 16,4 килограмма |
| 1 фунт | = 409,5 грамма |

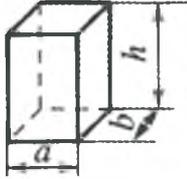
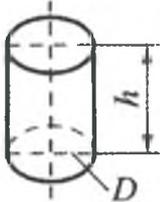
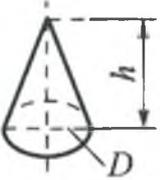
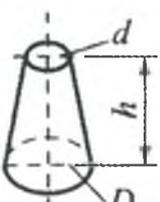
1.2. Площади плоских фигур

| Наименование | Изображение | Формула площади |
|---------------|---|----------------------|
| Треугольник |  | $S = \frac{1}{2} ah$ |
| Прямоугольник |  | $S = ah$ |

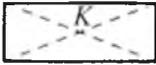
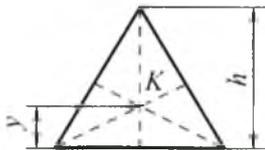
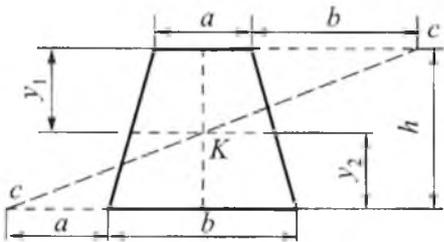
1.2. Площади плоских фигур (окончание)

| Наименование | Изображение | Формула площади |
|-----------------|---|---|
| Трапеция |  | $S = \frac{1}{2}h(a + b)$ |
| Круг |  | $S = \frac{1}{4}\pi D^2$, где $\pi = 3,14$ |
| Круговое кольцо |  | $S = \frac{1}{4}\pi D^2$ |

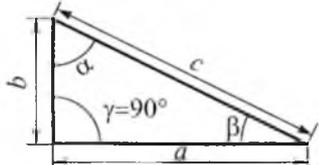
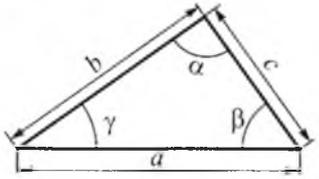
1.3. Объемы геометрических тел

| Наименование | Изображение | Формула площади |
|------------------------------|---|------------------------------|
| Прямоугольный параллелепипед |  | $V = abh$ |
| Цилиндр |  | $V = 0,785D^2h$ |
| Конус |  | $V = 0,262D^2h$ |
| Усеченный конус |  | $V = 0,262h(D^2 + d^2 + Dd)$ |
| Шар |  | $V = 0,523D^3$ |

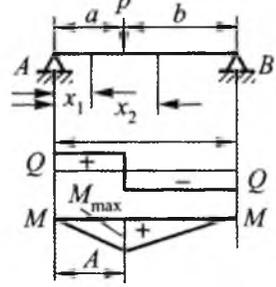
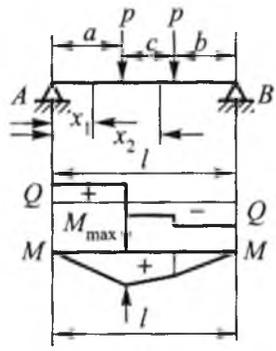
1.4. Центры тяжести простейших фигур

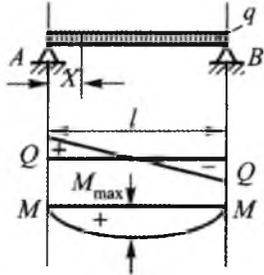
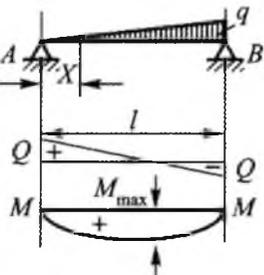
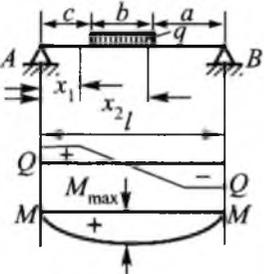
| Наименование | Изображение | Местонахождение центра тяжести |
|---------------|---|--|
| Прямоугольник |  | Центр тяжести K находится на пересечении диагоналей |
| Треугольник |  | Центр тяжести K находится на пересечении трех линий, соединяющих середины сторон треугольника с вершинами его углов; при этом $y = \frac{1}{3}h$ |
| Трапеция |  | Центр тяжести K находится на пересечении линии, соединяющей середины сторон трапеции с линией $c-c$, полученной построением, приведенным на чертеже; при этом: $y_1 = \frac{1}{3}h \frac{a+2b}{a+b};$ $y_2 = \frac{1}{3}h \frac{b+2a}{a+b}$ |
| Круг |  | Центр тяжести K находится в центре круга |

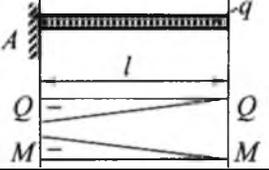
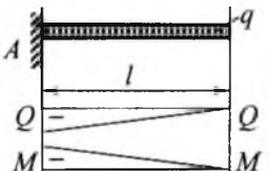
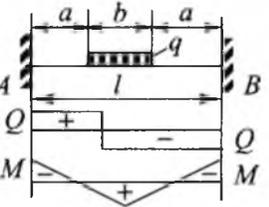
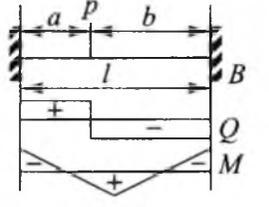
1.5. Решение треугольников

| Тип треугольника | Изображение | Основные формулы |
|------------------|---|---|
| Прямоугольный |  | $a = c \sin \alpha$ $b = c \sin \beta$ $a = b \operatorname{tg} \alpha$ $a = c \cos \beta$ $b = c \cos \alpha$ $b = a \operatorname{tg} \beta$ |
| Любой |  | $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2R$ R — радиус описанного круга; $a^2 = b \cos \gamma + c \cos \beta$ $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$ |

Расчетные формулы для простейших балок

| Тип балки | Схема загрузки и опоры | Опорная реакция | Поперечная сила | Изгибающий момент | |
|----------------------|--|--|--|---|--|
| | | | | в любом сечении | максимально возможный |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Балка на двух опорах |  | $A = \frac{Pb}{l};$ $B = \frac{Pa}{l};$ при $a = b$ $A = B = \frac{P}{2}$ | $Q_a = +\frac{Pb}{l};$ $Q_b = -\frac{Pb}{l};$ при $a = b$ $Q_c = \pm\frac{P}{2}$ | $M_{x_1} = \frac{Pb}{l}x_1;$ $M_{x_2} = \frac{Pa}{l}(l - x_2^2)$ | при $x = a$ $M_{\max} = \frac{Pab}{l}$ |
| |  | $A = \frac{P}{l}(2b + c);$ $B = \frac{P}{l}(2a + c);$ при $a = b$ $A = B = P$ | $Q_a = \frac{P}{l}(2b + c);$ $Q_c = \frac{P}{l}(a - b);$ $Q_b = \frac{P}{l}(2a + c);$ при $a = b$ $Q_c = 0$ | $M_{x_1} = \frac{Pb}{l}(2b + c)x_1;$ $M_{x_2} = \frac{P}{l}[(b - a)(x_2 + al)]$ | при $a > b$ $M_{\max} = \frac{Pa}{l}(2b + c);$ при $a < b$ $M_{\max} = \frac{Pa}{l}(2a + c)$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------|--|--|---|---|--|
| Балка на двух опорах |  | $A = B = \frac{ql}{2}$ | $Q_x = \left(\frac{1}{2} - x \right)$ при $x = \frac{1}{2}$ $Q = 0$ | $M_{x1} = \frac{qx}{2}(l - x)$ | при $x = \frac{1}{2}$ $M_{\max} = \frac{ql^2}{8}$ |
| |  | $A = \frac{ql}{6};$ $B = \frac{ql}{3}$ | $Q_x = \frac{q}{6l}(l^2 - 3x^2);$ при $x = 0,578l$ $Q = 0$ | $M_x = \frac{qx}{6l}(l^2 - x^2)$ | при $x = 0,578l$ $M_{\max} = 0,0642ql^2$ |
| |  | $A = B = \frac{qb}{2}$ | $Q_{x1} = +\frac{qb}{2};$ $Q_{x2} = A - q(x^2 - a)$ | $M_{x1} = \frac{qx}{2}x_1;$ $M_{x2} = \frac{qb}{2}x_2 - \frac{1}{b}(x_2 - a)^2$ | при $x_2 = \frac{1}{2}$ $M_{\max} = \frac{qb}{8}(2l - b)$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|--|---|--------------------------|---|--|
| Консольная балка |  | $A = ql;$ $M_a = \frac{ql}{2}$ | $Q_x = -qx$ | $M_x = \frac{qx^2}{2}$ | $M_{\max} = \frac{ql^2}{2}$ |
| |  | $A = \frac{ql}{2};$ $M_a = \frac{ql}{6}$ | $Q_x = -\frac{qx^2}{2}$ | $M_x = -\frac{qx^3}{6}$ | $M_{\max} = \frac{ql^2}{2}$ |
| |  | $A = B = \frac{qb}{2}$ | $Q_a = \pm \frac{qb}{2}$ | — | $M_{\max} =$ $= \frac{qb}{24l} (3l^2 - b^2) =$ $= M_a = M_b$ |
| |  | $A = B = \frac{P}{2}$ | $Q = \pm \frac{P}{2}$ | $M_x = A_x x + M_a =$ $= \frac{P}{2} x - \frac{Pb}{8}$ | при $x = 0$ $M_{\max} = M_a =$ $= M_b = -\frac{Pl}{8};$ при $x = \frac{l}{2}$ $M_{\max} = +\frac{Pl}{8}$ |

Приложение 3

Коэффициент линейного расширения

| | |
|----------------------------|----------|
| Сталь | 0,000012 |
| Чугун..... | 0,00001 |
| Медь | 0,000017 |
| Бронза..... | 0,000018 |
| Свинец..... | 0,000029 |
| Бетон | 0,00001 |
| Каменная кладка..... | 0,000008 |
| Кирпичная кладка..... | 0,000007 |
| Стекло | 0,000006 |
| Дерево вдоль волокон | 0,000003 |

Приложение 4

Веса основных строительных материалов

| Наименование материалов | Единица измерения | Вес в кг (средние данные) | Средняя загрузка | | |
|---|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | | на 3-т автомобиль | на 20-т железно- дорожный вагон | на 20-т платформу |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Бетон на каменном щебне или гравии | м ³ | 2400 | 1,3 | | — |
| Бетон на кирпичном щебне | То же | 1800 | 1,6 | | — |
| Бетон шлаковый | » | 1600 | 1,9 | | |
| Бут из твердых пород | » | 1700 | 1,7 | 10 | 10 |
| Бут известняковый | » | 1400 | 2,1 | 12 | 12 |
| Войлок строительный в кипах | » | 300 | 6 | 36 | 55 |
| Гипс (алебастр) россыпью | » | 1200 | 2,5 | 17 | — |
| Глина | » | 1500 | 2,0 | 13 | 13 |
| Гравий | » | 1600 | 1,9 | 12,5 | 12,5 |
| Грунт растительный | » | 1300 | 2,3 | 15 | 15 |
| Дрова березовые | » | 600 | 5,0 | 32 | 32 |
| Дрова хвойные | » | 450 | 6,0 | 35 | 35 |
| Железобетонные изделия в массивах и плитах | » | 2500 | 1,2 | 8 | 8 |
| Известь негашеная навалом | » | 1000 | 3,0 | 20 | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|----------------|------|-----|------|-----|
| Известь гашеная в порошке | м ³ | 600 | 3,5 | 30 | |
| Камень булыжный в штабеле | То же | 1800 | 1,6 | 11 | 11 |
| Кирпич красный стандартный | 1000 шт. | 3500 | 0,8 | 5,5 | 5,5 |
| Кирпич пористый | 1000 шт. | 1500 | 1,2 | 8 | 8 |
| Кирпич силикатный | 1000 шт. | 3700 | 0,8 | 5,4 | 5,4 |
| Лес круглый хвойный сырой | м ³ | 750 | 4,0 | — | 26 |
| Лес круглый хвойный полусухой | То же | 650 | 4,6 | — | 29 |
| Лес пиленый хвойный полусухой | » | 600 | 5,0 | — | 31 |
| Лес пиленый дубовый полусухой | » | 850 | 3,5 | — | 23 |
| Мусор строительный сухой | » | 1200 | 2,5 | 16,5 | 14 |
| То же мокрый с песком | » | 1800 | 1,6 | 11 | 11 |
| Опилки древесные навалом | » | 200 | 3,5 | 30 | — |
| Песок горный | » | 1600 | 1,9 | 13 | 13 |
| Песок речной | » | 1700 | 1,8 | 12 | 12 |
| Прессованный уголь (брикет) | » | 950 | 3,1 | 21 | 14 |
| Раствор цементный | » | 2200 | 1,3 | — | — |
| Рубероид | 1 рулон | 25 | 100 | 450 | — |
| Снег сухой чистый | м ³ | 100 | 4,0 | — | 15 |
| Снег слежавшийся | То же | 280 | 4,0 | — | 15 |
| Толь кровельный | 1 рулон | 40 | 65 | 300 | — |
| Торф в кусках влажный | м ³ | 500 | 3,5 | 25 | — |
| Уголь каменный | То же | 900 | 3,3 | 22 | 14 |
| Уголь антрацит | » | 1200 | 2,5 | 165 | 14 |
| Цемент навалом | » | 1300 | 2,2 | 15 | — |
| Щебень из твердого естественно-го камня | » | 1800 | 1,7 | 11 | 11 |

Сортаменты прокатной стали
Сортамент двутавровых балок и швеллеров

| | № профилей | Площадь сечения в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Размеры сечения в мм | | | Момент инерции в см ⁴ | | Момент сопротив- ления в см ² | |
|-------------------------------------|------------|--------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|---|---|---|---|
| | | | | Высота <i>h</i> | Ширина полки <i>b</i> | Толщина стенки δ | относитель- но вертика- льной оси | относитель- но горизон- тальной оси | относитель- но вертика- льной оси | относитель- но горизон- тальной оси |
| | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Двутавровые балки (по ГОСТ 8239-72) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 14,2 | 11,1 | 100 | 70 | 4,5 | 244 | 35,3 | 48,8 | 10,1 |
| | 12 | 16,5 | 13,0 | 120 | 75 | 5,0 | 403 | 43,8 | 67,2 | 11,7 |
| | 14 | 18,9 | 14,8 | 140 | 82 | 5,0 | 632 | 58,2 | 90,3 | 14,2 |
| | 16 | 21,5 | 16,9 | 160 | 90 | 5,0 | 945 | 77,6 | 118 | 17,2 |
| | 18 | 23,8 | 18,7 | 180 | 95 | 5,0 | 1330 | 94,6 | 148 | 19,9 |
| | 18a | 25,4 | 19,9 | 180 | 102 | 5,0 | 1440 | 119 | 160 | 23,3 |
| | 20 | 26,4 | 20,7 | 200 | 100 | 5,2 | 1810 | 112 | 181 | 22,4 |
| | 20a | 28,3 | 22,2 | 200 | 110 | 5,2 | 1970 | 148 | 197 | 27,0 |
| | 22 | 30,2 | 23,7 | 220 | 110 | 5,3 | 2530 | 155 | 230 | 28,2 |
| | 22a | 32,4 | 25,4 | 220 | 120 | 5,3 | 2760 | 203 | 251 | 33,8 |
| | 24 | 34,8 | 27,3 | 240 | 115 | 5,6 | 3460 | 198 | 289 | 34,5 |
| | 24a | 37,5 | 29,4 | 240 | 125 | 5,6 | 3800 | 260 | 317 | 41,6 |
| | 27 | 40,2 | 31,5 | 270 | 125 | 6,0 | 5010 | 260 | 371 | 41,5 |
| | 27a | 43,2 | 33,9 | 270 | 135 | 6,0 | 5500 | 337 | 407 | 50,0 |
| | 30 | 46,5 | 36,5 | 300 | 135 | 6,5 | 7080 | 337 | 472 | 49,9 |
| | 30a | 49,9 | 39,2 | 300 | 145 | 6,5 | 7780 | 436 | 518 | 60,1 |
| 33 | 53,8 | 42,2 | 330 | 140 | 7,0 | 9840 | 419 | 597 | 59,9 | |
| 36 | 61,9 | 48,6 | 360 | 145 | 7,5 | 13 380 | 516 | 743 | 71,1 | |
| 40 | 71,4 | 56,1 | 400 | 155 | 8,0 | 18 930 | 666 | 947 | 85,9 | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-------------------------------------|----------------------------------|------|------|-----|------|---------|--------|------|------|------|--|
| Двутавровые балки (по ГОСТ 8239-72) | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 83,0 | 65,2 | 450 | 160 | 8,6 | 27 450 | 807 | 1220 | 101 | |
| | 50 | 96,9 | 76,1 | 500 | 170 | 9,3 | 39 120 | 1040 | 1560 | 122 | |
| | 55 | 113 | 88,6 | 500 | 180 | 10,0 | 54 810 | 1350 | 1990 | 150 | |
| | 60 | 131 | 103 | 600 | 190 | 10,8 | 75 010 | 1720 | 2500 | 181 | |
| | 65 | 151 | 119 | 650 | 200 | 11,7 | 100 | 2170 | 3100 | 217 | |
| | 70 | 174 | 137 | 700 | 210 | 12,7 | 133 | 2730 | 3830 | 260 | |
| | 70a | 202 | 158 | 700 | 210 | 15,0 | 152 | 3240 | 4360 | 309 | |
| | 70б | 234 | 184 | 700 | 210 | 17,5 | 175 | 3910 | 5010 | 373 | |
| | Двутавровые балки широкополочные | | | | | | | | | | |
| | 20 | 26,8 | 21,0 | 200 | 120 | 5,0 | 1890 | 210 | 189 | 35,1 | |
| | 22 | 26,0 | 20,4 | 220 | 130 | 5,0 | 2160 | 220 | 196 | 33,8 | |
| | 24 | 28,2 | 22,1 | 240 | 140 | 5,0 | 2790 | 275 | 233 | 39,2 | |
| | 27 | 32,6 | 25,6 | 270 | 150 | 5,2 | 4070 | 360 | 302 | 48,0 | |
| | 30 | 37,5 | 29,4 | 300 | 160 | 5,5 | 5750 | 465 | 384 | 58,1 | |
| | 33 | 43,4 | 34,1 | 330 | 170 | 6,0 | 7950 | 590 | 482 | 69,4 | |
| | 36 | 50,5 | 39,6 | 360 | 180 | 6,5 | 10 920 | 759 | 607 | 84,3 | |
| | 40 | 59,1 | 46,4 | 400 | 190 | 7,0 | 15 660 | 973 | 783 | 102 | |
| | 45 | 69,9 | 54,8 | 450 | 195 | 7,7 | 22 940 | 1160 | 1020 | 119 | |
| | 50 | 82,6 | 64,8 | 500 | 205 | 8,5 | 32 900 | 1470 | 1320 | 143 | |
| | 55 | 97,6 | 76,6 | 550 | 220 | 9,0 | 47 370 | 2030 | 1720 | 184 | |
| 60 | 116 | 90,9 | 600 | 235 | 10,0 | 66 170 | 2690 | 2210 | 229 | | |
| 65 | 137 | 107 | 650 | 250 | 10,5 | 93 240 | 3730 | 2870 | 298 | | |
| 70 | 161 | 127 | 700 | 275 | 11,0 | 130 270 | 5550 | 3720 | 404 | | |
| 80 | 194 | 152 | 800 | 300 | 12,0 | 201 310 | 7660 | 5030 | 511 | | |
| 90 | 232 | 182 | 900 | 325 | 13,5 | 297 810 | 10 200 | 6620 | 628 | | |
| 100 | 279 | 219 | 1000 | 350 | 14,5 | 443 090 | 14 320 | 8860 | 818 | | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|------|------|------|-----|-----|--------|------|------|------|------|
| Швеллеры (по ГОСТ 8240-56) | | | | | | | | | | |
| | 5 | 6,9 | 5,42 | 50 | 37 | 4,5 | 26,1 | 8,41 | 10,4 | 3,59 |
| | 6,5 | 8,28 | 6,5 | 65 | 40 | 4,5 | 54,5 | 11,9 | 16,8 | 4,58 |
| | 8 | 9,91 | 7,78 | 80 | 45 | 4,8 | 99,9 | 17,8 | 25,0 | 5,89 |
| | 10 | 11,7 | 9,2 | 100 | 50 | 4,8 | 187 | 25,6 | 37,3 | 7,42 |
| | 12 | 13,7 | 10,8 | 120 | 54 | 5 | 313 | 34,4 | 52,2 | 9,01 |
| | 14 | 15,7 | 12,3 | 140 | 58 | 5 | 489 | 45,1 | 69,8 | 10,9 |
| | 14a | 16,9 | 13,2 | 140 | 62 | 5 | 538 | 56,6 | 76,8 | 13,0 |
| | 16 | 18,0 | 14,1 | 160 | 64 | 5 | 741 | 62,6 | 92,6 | 13,6 |
| | 16a | 19,3 | 15,1 | 160 | 68 | 5 | 811 | 77,3 | 101 | 16,0 |
| | 18 | 20,5 | 16,1 | 180 | 70 | 5 | 1080 | 85,6 | 120 | 16,9 |
| | 18a | 21,9 | 17,2 | 180 | 74 | 5 | 1180 | 104 | 131 | 19,7 |
| | 20 | 23,4 | 18,4 | 200 | 76 | 5,2 | 1520 | 113 | 152 | 20,5 |
| | 20a | 25,0 | 19,6 | 200 | 80 | 5,2 | 1660 | 137 | 166 | 24,0 |
| | 22 | 26,7 | 20,9 | 220 | 82 | 5,3 | 2120 | 151 | 193 | 25,4 |
| | 22a | 28,6 | 22,5 | 220 | 87 | 5,3 | 2320 | 186 | 211 | 29,9 |
| | 24 | 30,6 | 24,0 | 240 | 90 | 5,6 | 2900 | 208 | 242 | 31,6 |
| | 24a | 32,9 | 25,8 | 240 | 95 | 5,6 | 3180 | 254 | 265 | 37,2 |
| | 27 | 35,2 | 27,7 | 270 | 96 | 6 | 4160 | 262 | 308 | 37,3 |
| | 30 | 40,5 | 31,8 | 300 | 100 | 6,5 | 5810 | 327 | 387 | 43,6 |
| | 33 | 46,5 | 36,5 | 330 | 105 | 7 | 7980 | 410 | 484 | 51,8 |
| 36 | 53,4 | 41,9 | 360 | 110 | 7,5 | 10 820 | 513 | 601 | 61,7 | |
| 40 | 61,5 | 48,3 | 400 | 115 | 8 | 15 220 | 642 | 761 | 73,4 | |

Сортамент равнобоких уголков (по ГОСТ 8509-57)

| Профили | Вес 1 пог. м в кг | Площадь в см ² | Размер полки | | Профили | Вес 1 пог. м в кг | Площадь в см ² | Размер полки | |
|---------|----------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|---------|----------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | | в мм | | | | | в мм | |
| | | | ширина <i>a</i> | толщина δ | | | | ширина <i>a</i> | толщина δ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2 | 0,89 | 1,13 | 20 | 3 | 8 | 6,78 | 18,63 | 80 | 5,5 |
| | 1,15 | 1,46 | | 4 | | 7,36 | 9,38 | | 6 |
| 2,5 | 1,12 | 1,43 | 25 | 3 | | 8,51 | 10,8 | | 7 |
| | 1,46 | 1,86 | | 4 | | 9,65 | 12,3 | | 8 |
| 2,8 | 1,27 | 1,62 | 28 | 3 | 9 | 8,33 | 10,6 | 90 | 6 |
| 3,2 | 1,46 | 1,86 | 32 | 3 | | 9,64 | 2,3 | | 7 |
| | 1,91 | 2,43 | | 4 | | 10,9 | 13,9 | | 8 |
| 3,6 | 1,65 | 1,86 | 36 | 3 | | 12,2 | 5,6 | | 9 |
| | 1,65 | 2,10 | | 3 | 10 | 10,1 | 12,8 | 100 | 6,5 |
| | 2,16 | 2,75 | | 4 | | 10,8 | 13,8 | | 7 |
| 4 | 1,85 | 2,35 | 40 | 3 | | 12,2 | 15,6 | | 8 |
| | 2,42 | 3,08 | | 4 | | 15,1 | 19,2 | | 10 |
| 4,5 | 2,08 | 2,65 | 45 | 3 | | 17,9 | 22,8 | | 12 |
| | 2,73 | 3,48 | | 4 | | 20,6 | 26,3 | | 14 |
| | 3,37 | 4,29 | | 5 | | 23,3 | 29,7 | | 16 |
| 5 | 2,32 | 2,96 | 50 | 3 | 11 | 11,9 | 15,2 | 110 | 7 |
| | 3,05 | 3,89 | | 4 | | 13,5 | 17,2 | | 8 |
| | 3,77 | 4,80 | | 5 | 12,5 | 15,5 | 19,7 | 125 | 8 |
| 5,6 | 3,03 | 3,86 | 56 | 3,5 | | 17,3 | 22,0 | | 9 |
| | 3,44 | 4,38 | | 4 | | 22,7 | 28,9 | | 12 |
| | 4,25 | 5,41 | | 5 | | 26,2 | 33,4 | | 14 |
| 6,3 | 3,90 | 4,96 | 63 | 4 | | 29,6 | 37,8 | | 16 |
| | 4,81 | 6,13 | | 5 | 14 | 19,4 | 24,7 | 140 | 9 |
| | 5,72 | 7,28 | | 6 | | 21,5 | 27,3 | | 10 |
| 7 | 4,87 | 6,20 | 70 | 4,6 | | 25,5 | 32,5 | | 12 |
| | 5,38 | 5,86 | | 5 | 16 | 24,7 | 31,4 | 160 | 10 |
| | 6,39 | 8,15 | | 6 | | 27,0 | 34,4 | | 11 |
| | 7,39 | 9,42 | | 7 | | 29,4 | 37,4 | | 12 |
| | 8,37 | 0,7 | | 8 | | 34,0 | 43,3 | | 14 |
| 7,5 | 5,80 | 17,39 | 75 | 5 | | 38,5 | 49,1 | | 16 |
| | 6,89 | 8,78 | | 6 | | 43,0 | 54,8 | | 18 |
| | 7,96 | 0,1 | | 7 | | 47,4 | 60,4 | | 20 |
| | 9,02 | 11,5 | | 8 | 18 | 30,5 | 38,8 | 180 | 11 |
| | 10,1 | 12,8 | | 9 | | 33,1 | 42,2 | | 12 |

| | | | | | | | | | |
|----|------|-------|-----|----|-------|-------|----|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 20 | 37,0 | 47,1 | 200 | 12 | 53,8 | 68,6 | 16 | | |
| | 39,9 | 50,9 | | 13 | 61,5 | 78,4 | 16 | | |
| | 42,8 | 54,6 | | 14 | 68,9 | 87,7 | 18 | | |
| | 48,7 | 62,0 | | 16 | 76,1 | 97,0 | 20 | | |
| | 60,1 | 76,5 | | 20 | 83,3 | 06,1 | 22 | | |
| | 74,0 | 94,3 | | 25 | 94,0 | 19,7 | 25 | | |
| | 87,6 | 111,5 | | 30 | 104,5 | 133,1 | 28 | | |
| 22 | 47,4 | 60,4 | 220 | 14 | 111,4 | 42,0 | 30 | | |

Сортамент неравнобоких уголков (по ГОСТ 8510-57)

| Профили | Вес 1 пог. м в кг | Площадь в см ² | Размер полки в мм | | | толщина δ | Профили | Вес 1 пог. м в кг | Площадь в см ² | Размер полки в мм | | | толщина δ |
|---------|-------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|-----|------------------|---------|-------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--|------------------|
| | | | ширина большой a | ширина малой b | | | | | | ширина большой a | ширина малой b | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 2,5/1,6 | 0,91 | 1,16 | 25 | 16 | 3 | 10/6 | 7,53 | 9,59 | 100 | 63 | 6 | | |
| 3,2/2 | 1,17 | 1,49 | 32 | 20 | 3 | 8,70 | 8,70 | 11,1 | | | 7 | | |
| | 1,52 | 1,94 | 40 | 25 | 4 | 9,87 | 9,87 | 12,6 | | | 8 | | |
| 4/2,5 | 1,48 | 1,89 | 40 | 25 | 3 | 12,1 | 12,1 | 15,5 | | | 10 | | |
| | 1,94 | 2,47 | 45 | 28 | 4 | 8,98 | 8,98 | 11,4 | 110 | 70 | 6,5 | | |
| 4,5/2,8 | 1,68 | 2,14 | 50 | 32 | 3 | 9,64 | 9,64 | 12,3 | | | 7 | | |
| | 2,20 | 2,80 | 56 | 36 | 4 | 10,9 | 10,9 | 13,9 | | | 8 | | |
| 5/3,2 | 1,90 | 2,42 | 50 | 32 | 3 | 12,5 | 12,5 | 14,1 | 125 | 80 | 7 | | |
| | 2,49 | 3,17 | 63 | 40 | 4 | 16 | 16 | 16 | | | 8 | | |
| 5,6/3,6 | 2,48 | 3,16 | 63 | 36 | 3,5 | 12,5 | 12,5 | 14,1 | | | 8 | | |
| | 2,81 | 3,58 | 70 | 45 | 4 | 15,5 | 15,5 | 19,7 | | | 10 | | |
| 6,3/4,0 | 3,46 | 4,41 | 70 | 45 | 4 | 18,3 | 18,3 | 23,4 | | | 12 | | |
| | 3,17 | 4,04 | 75 | 50 | 5 | 14,1 | 14,1 | 18 | 140 | 90 | 8 | | |
| | 3,91 | 4,98 | | | 4 | 17,5 | 17,5 | 22,2 | 140 | 90 | 10 | | |
| | 4,63 | 5,90 | | | 5 | 18 | 18 | 22,9 | 160 | 100 | 10 | | |
| | 6,03 | 7,68 | | | 6 | 19,8 | 19,8 | 25,3 | | | 10 | | |
| 7/4,5 | 3,98 | 5,07 | | | 8 | 23,6 | 23,6 | 30 | | | 12 | | |
| | 4,39 | 5,59 | | | 4,5 | 27,3 | 27,3 | 34,7 | | | 14 | | |
| 7,5/5 | 4,79 | 6,11 | | | 5 | 22,2 | 22,2 | 28,3 | 180 | 110 | 10 | | |
| | | | | | 5 | 26,4 | 26,4 | 33,7 | | | 12 | | |

Сортамент неравнобоких уголков (по ГОСТ 8510-57)

| Профили | Вес 1 пог. м в кг | Площадь в см ² | Размер полки | | | Профили | Вес 1 пог. м в кг | Площадь в см ² | Размер полки | | | |
|---------|-------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|---------|-------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------|----|
| | | | в мм | | | | | | в мм | | | |
| | | | ширина большой <i>a</i> | ширина малой <i>b</i> | толщина δ | | | | ширина большой <i>a</i> | ширина малой <i>b</i> | толщина δ | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 8/5 | 5,69 | 7,25 | 80 | 50 | 6 | 20/1 | 27,4 | 34,9 | 200 | 125 | 11 | |
| | 7,43 | 9,47 | | | 8 | | 29,7 | 37,9 | | | | 12 |
| | 4,99 | 6,36 | | | 5 | | 34,4 | 43,9 | | | | 14 |
| 9/5,6 | 5,92 | 7,55 | 90 | 56 | 6 | 25/1 | 39,1 | 49,8 | 250 | 160 | 16 | |
| | 6,17 | 7,86 | | | 5,5 | | 37,9 | 48,3 | | | 12 | |
| | 6,70 | 8,54 | | | 6 | | 49,9 | 63,6 | | | 16 | |
| | 8,77 | 11,18 | | | 8 | | 55,8 | 71,1 | | | 18 | |
| | | | | | | | 61,7 | 78,5 | | | 20 | |

Приложение 6

Основные характеристики железнодорожных рельсов

| Тип рельса | ГОСТ | Основные размеры в мм | | | Площадь поперечного сечения в см ² | Вес 1 пог. м в кг | Нормальная длина в м | Вес одного рельса в кг | Момент инерции в см ⁴ | |
|------------|----------|-----------------------|----------------|----------------|---|-------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| | | Высота рельса | Ширина подошвы | Ширина головки | | | | | относительно горизонтальной оси | относительно вертикальной оси |
| P75 | 16210-77 | 192,00 | 150,00 | 72,00 | 95,04 | 74,01 | 12,5/25 | 925,125/ 1850,25 | 4489 | 665 |
| P65 | 8161-75 | 180,00 | 150,00 | 73,00 | 82,65 | 64,72 | 12,5/25 | 809/ 1618 | 3540 | 564 |
| P50 | 7174-75 | 152,00 | 132,00 | 70,2 | 65,99 | 51,67 | 12,5/25 | 645,88/ 1291,75 | 2011 | 375 |
| P43 | 7173-54 | 140,00 | 114,00 | | 70,00 | 44,65 | 12,5/25 | 558,13/ 1116,25 | 1480 | 260 |

Основные характеристики шпал

| Тип шпалы | Основные размеры шпал в мм | | | | Длина в м | Вес одной шпалы в кг | | | |
|--------------------------------|----------------------------|----------|---------|----------------|-----------|----------------------|---------|----|-----|
| | Ширина | | Толщина | Сосновой | | | Дубовой | | |
| | По низу | По верху | | Не пропитанной | | Пропитанной | | | |
| Для нормальной колеи — 1520 мм | | | | | | | | | |
| Деревянные | | | | | | | | | |
| I-а | обрезные | 250 | 165 | 180 | 2,75 | 58 | 86 | 70 | 116 |
| II-а | | 230 | 160 | 160 | 2,75 | 51 | 77 | 61 | 102 |
| III-а | | 230 | 150 | 150 | 2,75 | 47 | 70 | 56 | 93 |
| Для нормальной колеи — 1520 мм | | | | | | | | | |
| Деревянные | | | | | | | | | |
| I-б | полуобрезные | 250 | 210 | 180 | 2,75 | 59 | 88 | 71 | 117 |
| II-б | | 230 | 195 | 160 | 2,75 | 51 | 77 | 61 | 102 |
| III-б | | 230 | 190 | 150 | 2,75 | 46 | 74 | 55 | 92 |
| I-в | необрезные | 250 | 165 | 180 | 2,75 | 60 | 89 | 73 | 120 |
| II-в | | 230 | 160 | 160 | 2,75 | 53 | 81 | 63 | 102 |
| III-в | | 230 | 150 | 150 | 2,75 | 48 | 76 | 58 | 92 |
| Для узкой колеи — 1000 мм | | | | | | | | | |
| Брусковые пластинные | 225 | 135 | 140 | 1,80 | 29,5 | — | — | — | — |
| | 260 | 100 | 120 | 1,80 | 30,0 | — | — | — | — |
| Для узкой колеи — 750 мм | | | | | | | | | |
| Брусковые пластинные | 210 | 100 | 130 | 1,50 | 20 | — | — | — | — |
| | 260 | 100 | 120 | 1,50 | 25 | — | — | — | — |

Предел прочности бетона

| | Марка в кг/см ² м | Класс | | Марка в кг/см ² м | Класс | | Марка в кг/см ² м | Класс |
|---|------------------------------|-------|---|------------------------------|--------|----|------------------------------|-------|
| 1 | 100 | B 7,5 | 5 | M 300 | B 25 | 9 | M 500 | B 40 |
| 2 | 150 | B 10 | 6 | M 350 | B 27,5 | 10 | M 600 | B 45 |
| 3 | M 200 | B 15 | 7 | M 400 | B 30 | 11 | M 700 | B 55 |
| 4 | M 250 | B 20 | 8 | M 450 | B 35 | 12 | M 800 | B 60 |

Рекомендуемая литература

1. Альбом чертежей конструкций групповых технических решений для усиления деформирующихся насыпей ЦПИ 22/30. — М., 2002.
2. Колоколов Н.М., Конац Л.Н., Файнштейн К.С. Искусственные сооружения». — М: Транспорт, 1988.
3. Мосты и тоннели на железных дорогах / Под ред. В.О. Осипова. — М.: Транспорт, 1988.
4. Савин К.Д. Искусственные сооружения. — М.: Транспорт, 1988.
5. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб / В.О. Осипов и др. — М.: Транспорт, 1996.
6. Справочник по ремонту мостов и труб на железных дорогах. — М.: Транспорт, 1973.
7. Строительно-путейское дело в России XX века. — М.: УМК МПС России, 2001.
8. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб. СН200-62. — М. Трансжелдориздат, 1962.
9. Технические условия по стабилизации эксплуатируемых насыпей на слабых основаниях / ОАО «РЖД» ЦПИ 22/45. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.
10. Шабалина Л.А. Организация и технология строительства железных дорог. — М.: УМК МПС России, 2001.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Раздел I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ | 5 |
| Глава 1. ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ | 5 |
| 1.1. Виды искусственных сооружений | 5 |
| 1.2. Классификация мостов | 9 |
| 1.3. Основные элементы моста | 14 |
| 1.4. Краткий исторический очерк развития мостостроения | 16 |
| 1.5. Основные положения проектирования мостов и труб | 26 |
| 1.6. Общие сведения о расчете сооружений | 27 |
| 1.7. Габариты | 29 |
| Глава 2. МОСТОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И МАЛЫЕ ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ | 33 |
| 2.1. Общие сведения о водотоках | 33 |
| 2.2. Элементы мостового перехода | 37 |
| 2.3. Изыскания мостового перехода | 44 |
| 2.4. Выбор типа и определение размеров малых водопропускных сооружений | 46 |
| 2.5. Расчет отверстия малого моста | 50 |
| 2.6. Строительные нормы и правила (СНиП) | 54 |
| 2.7. Основные требования к конструкции мостов и труб | 55 |
| Раздел 2. КОНСТРУКЦИЯ И УСТРОЙСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ | 56 |
| Глава 3. КОНСТРУКЦИЯ И МАТЕРИАЛ ОПОР | 56 |
| 3.1. Общие сведения об опорах | 56 |
| 3.2. Виды опор | 61 |
| 3.3. Основания и фундаменты опор мостов | 65 |
| 3.4. Опорные части | 78 |
| 3.5. Постройка опор мостов | 80 |
| Глава 4. ВОДОПРОПУСКНЫЕ ТРУБЫ | 89 |
| 4.1. Общие сведения о трубах | 89 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. Виды труб | 92 |
| 4.3. Конструктивные особенности труб | 97 |
| 4.4. Организация строительной площадки по сооружению сборной железобетонной трубы | 104 |
| 4.5. Металлические трубы | 106 |
| Глава 5. КАМЕННЫЕ И БЕТОННЫЕ МОСТЫ | 109 |
| 5.1. Особенности каменных и бетонных мостов | 109 |
| 5.2. Сооружение каменных и бетонных мостов | 114 |
| Глава 6. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОСТЫ | 117 |
| 6.1. Железобетон — материал для искусственных сооружений | 117 |
| 6.2. Конструкции железобетонных мостов. Мостовое полотно | 122 |
| 6.3. Постройка мостов | 137 |
| 6.4. Планирование работ по постройке моста | 142 |
| Глава 7. СТАЛЬНЫЕ МОСТЫ | 145 |
| 7.1. Область применения. Характеристика стальных мостов | 145 |
| 7.2. Сталь для мостов | 146 |
| 7.3. Сортамент прокатной стали | 150 |
| 7.4. Соединение элементов металлических пролетных строений | 152 |
| 7.5. Основные виды стальных пролетных строений | 157 |
| 7.6. Конструкция пролетных строений со сплошными балками | 164 |
| 7.7. Конструкции пролетных строений со сквозными фермами | 166 |
| 7.8. Мостовое полотно на капитальных мостах | 174 |
| 7.9. Разводные мосты | 181 |
| Глава 8. ДЕРЕВЯННЫЕ МОСТЫ | 181 |
| 8.1. Общие сведения. Материал мостов | 181 |
| 8.2. Основные системы деревянных мостов | 185 |
| 8.3. Опоры деревянных мостов. Ледорезы | 188 |
| 8.4. Мостовое полотно деревянных мостов | 193 |
| 8.5. Другие виды деревянных мостов | 194 |
| 8.6. Постройка деревянных мостов | 197 |
| Глава 9. ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ | 199 |
| 9.1. Назначение и виды подпорных стен | 199 |
| 9.2. Противообвальные и селезащитные сооружения | 201 |
| Глава 10. ТОННЕЛИ | 204 |
| 10.1. Общие сведения о тоннелях | 204 |
| 10.2. Конструкции тоннельных обделок | 212 |
| 10.3. Порталы, ниши и водоотводные сооружения в тоннелях | 215 |
| 10.4. Краткие сведения о метрополитенах | 218 |

| | |
|--|------------|
| Раздел 3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ | 221 |
| Глава II. СОДЕРЖАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ. | |
| ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ИХ СЛУЖБЫ | 221 |
| 11.1. Общие положения | 221 |
| 11.2. Эксплуатация массивных опор | 224 |
| 11.3. Эксплуатация каменных, бетонных и железобетонных мостов | 228 |
| 11.4. Эксплуатация металлических мостов | 229 |
| 11.5. Эксплуатация деревянных мостов | 231 |
| 11.6. Эксплуатация труб и тоннелей | 232 |
| 11.7. Общие условия эксплуатации искусственных сооружений | 235 |
| 11.8. Специальные мероприятия | 238 |
| 11.9. Выполнение работ на эксплуатируемых линиях | 241 |
| Приложения | 246 |
| Рекомендуемая литература | 261 |

Учебное издание

Шабалина Любовь Артемовна

ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

*Учебное пособие для техникумов и колледжей
железнодорожного транспорта*

Редактор *Л. М. Суворова*
Корректоры *А. А. Животовская, И. Ф. Солодкова*
Компьютерная верстка *В. М. Данильченко*

Подписано в печать 20.11.2007 г.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 16,5. Тираж 3000 экз. Заказ №149
ГОУ «Учебно-методический центр по образованию
на железнодорожном транспорте»
Тел.: +7(495) 262-12-47
E-mail: marketing@umczdt.ru
<http://www.umczdt.ru>

Отпечатано в ОАО «Московская типография №6»
115088, Москва, Южнопортовая ул., 24