

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)
Волгоградский техникум железнодорожного транспорта
(ВТЖТ – филиал РГУПС)

И.Г.Водолагина

ПМ.03. Устройство, надзор и техническое состояние
железнодорожного пути и искусственных сооружений

МДК.03.02 Устройство искусственных сооружений

Учебное пособие для студентов специальности

08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство

Волгоград
2017

Учебное пособие для студентов по МДК.03.02 Устройство искусственных сооружений / И.Г.Водолагина; ВТЖТ – филиал ФГБОУ ВО РГУПС. – Волгоград, 2017. – 126с.

Предназначено для студентов специальности Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство

Рекомендовано УМО по среднему профессиональному образованию Волгоградской области к использованию в учебном процессе в качестве учебного пособия для учебных заведений СПО Волгоградской области.

Одобрено к изданию методическим советом ВТЖТ – филиал ФГБОУ ВО РГУПС.

Содержание

Тема Конструкции искусственных сооружений

§ 1. Назначение и виды искусственных сооружений	5
§ 2. Нагрузки, действующие на искусственные сооружения	9
§ 3. Водный поток и его влияние на работу искусственных сооружений	12
§ 4. Эксплуатационные обустройства искусственных сооружений	15
§ 5. Область применения металлических мостов. Виды металлических мостов	18
§ 6. Конструкция металлических мостов. Основные части металлических мостов	19
§ 7. Конструкция пролетных строений	25
§ 8. Элементы ферм и их узловые соединения. Тормозные системы	31
§9. Проезжая часть, ее элементы и виды сопряжения	34
§10. Устройство мостового полотна и железнодорожного пути.	34
§11. Опорные части	29
§12. Надзор и уход за металлическими пролетными строениями. Основные неисправности металлических пролетных строений и способ их устранения	42
§13. Общие сведения об опорах	43
§14. Основания и фундаменты опор	46
§15. Фундаменты мелкого заложения	47
§ 16 Свайные фундаменты.	49
§17. Фундаменты глубокого заложения	55
§18. Конструкция устоев и быков	58
§19. Эксплуатация опор. Защита поверхности опор	62
§20. Конструкция каменных и бетонных мостов	63
§21. Разновидности и эксплуатация каменных и бетонных мостов	66
§22. Конструкция железобетонных мостов. Системы и виды железобетонных мостов	68
§23. Принцип армирования и материал для железобетонных мостов	81
§24. Эксплуатация железобетонных мостов , основные неисправности и способ их устранения	83
§25. Конструкция водопропускных труб	85
§26. Область применения труб . Конструкция труб из различных материалов	87
§27. Трубы на косогорах	90
§28. Эксплуатация труб	91

§29. Подпорные стены. Назначение, виды, конструкция	92
§30. Характеристика и конструкция транспортных тоннелей	94
§31. Обустройство тоннелей, устройство пути в тоннелях и особенности их эксплуатации	97
Тема Система надзора , ухода и ремонта искусственных сооружений	
§32. Особенности эксплуатации искусственных сооружений	104
§33. Виды и сроки осмотра искусственных сооружений	107
§34. Основные неисправности искусственных сооружений и перечень работ по их устранению	110
§35. Организация работ по пропуску паводковых вод и ледохода	121
§36. Ведение технической документации по искусственным сооружениям	122
§37. Охрана труда при содержании и ремонте искусственных сооружений	124
Список литературы	125

Тема 2.1 Конструкции искусственных сооружений

§ 1. Назначение и 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 пересечении 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).



Рисунок 1.1 – Железнодорожный мост (общий вид)



Рисунок 1.2 - Путепровод



Рисунок 1.3 - Эстакады



Рисунок 1.4 – Акведук

На небольших постоянных (ручьи, каналы) и периодических (временных) водотоках строят водопропускные трубы (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Водопропускная труба

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) .

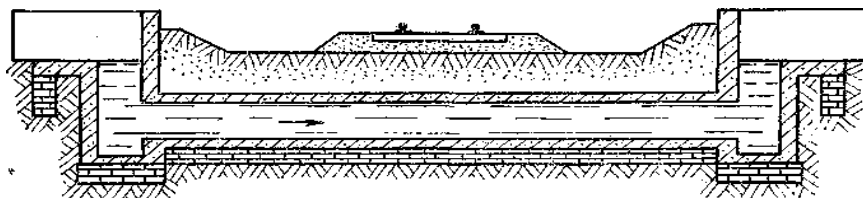


Рисунок 1.6 – Дюкер

При пересечении дорогой глубоких и сухих логов, оврагов, горных ущелий устраивают виадуки (рис.1.7) . Виадуки сооружаются взамен высоких насыпей.



Рисунок 1.7 - Виадук

Для преодоления высотного препятствия применяют тоннели (рис.1.8)



Рисунок 1.8 - Тоннель

Другой вид горных искусственных сооружений—галереи—предназначены для удерживания грунта от обрушения на путь, защиты пути от обвалов и камнепадов (рис.1.9).



Рисунок 1.9 - Галерея

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).



Рисунок 1.10 - Селеспуск

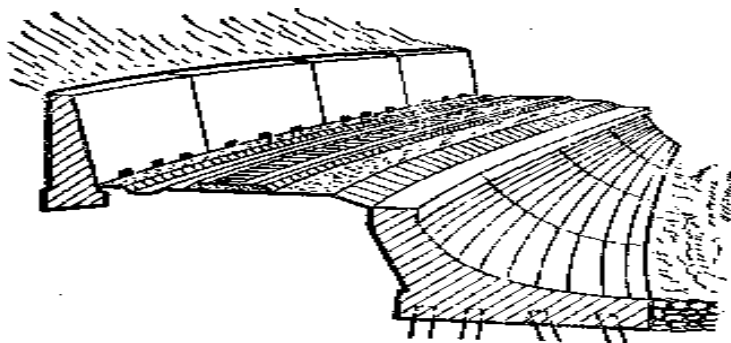


Рисунок 1.11 - Подпорная стена

§ 2. Нагрузки, действующие на искусственные сооружения

Мосты, как никакие другие искусственные сооружения, подвергаются действию наиболее значительных разнообразных нагрузок.

Помимо собственного веса, мосты воспринимают также большую нагрузку от проходящих поездов. Полная нагрузка от поезда на пролетном строении моста тем больше, чем больше длина загрузки, которая связана с величиной пролета. Но для большей поездной нагрузки необходима и более мощная, а следовательно, и более тяжелая (при данных материалах и системе) конструкция пролетного строения.

Малые мосты и трубы при меньшей длине загрузки поездной нагрузкой имеют сравнительно легкие конструкции. Причем на трубы действие поезда передается грунтом насыпи, расположенным над трубой.

На подпорную стену, поддерживающую сбоку основание пути на косогоре, нагрузка от поезда действует через грунт основания не только вниз, но и в стороны, в том числе на стену сбоку.

Обделка тоннелей, галерей практически не испытывает ни вертикального, ни бокового давления от поездной нагрузки и подвергается преимущественно горному давлению, если окружающие тоннель породы сами по себе неустойчивы.

Собственный вес присущ всякой конструкции. В отличие от собственного веса, действующего в сооружении постоянно, нагрузку от поездов называют временной: она действует лишь в момент нахождения поезда на сооружении. К постоянным нагрузкам, кроме веса сооружения и других расположенных на нем устройств и конструкций, в частности, пути, относят и иные постоянно действующие на сооружение силы. Таково, например, давление грунта насыпи на трубы и устои мостов, горное давление на подпорные стены и тоннели и т. д.

Временная вертикальная и постоянная нагрузки самые существенные. Но на многие сооружения влияют еще и другие силы. Так, на мосты действуют продольные (вдоль пути) силы, развивающиеся при ускорении и торможении поезда, поперечные силы—давление ветра на конструкции моста и проходящий по нему состав, давление льда, а случается и навал судов на опоры. В соответствующих районах принимают в расчет и сейсмические силы. Таким образом, в эксплуатации, а также при строительстве сооружение подвергается разнообразным воздействиям. Многие из них совпадают во времени и более или менее продолжительны, иные — кратковременны. Поэтому при составлении проекта сооружения все воздействия учитываются в различных практически возможных

сочетаниях . На худшее сочетание нагрузок и рассчитывают сооружение.

Поездная нагрузка с развитием транспорта возрастает. В прошлом поезда были легкими и по размерам малыми. Масса паровоза не превышала 70 т. Масса современного локомотива достигает 200 т.

При происходящем утяжелении поездных нагрузок искусственным сооружениям в расчете на длительный срок их службы придают запас грузоподъемности исходя из ожидаемой в перспективе нагрузки.

Нормативную подвижную нагрузку в необходимых случаях увеличивают вследствие так называемого динамического воздействия поездов. Известно, что дополнительно к указанному статическому давлению массой идущий поезд оказывает на путь и расположенные под ним конструкции немалые ударные (динамические) воздействия. Они также направлены вниз, а частично и в стороны (боковые удары). Динамическое воздействие возникает из-за боковой качки подрессоренной конструкции локомотива и вагонов, ударов колес на рельсовых стыках и имеющих в профиле и плане неровностях рельсовых нитей. Для небольших легких металлических пролетных строений дополнительное динамическое воздействие достигает 50—70% статической вертикальной нагрузки. Воздействие боковых ударов подвижного состава составляет около 10% его массы.

В кривых участках на путь и сооружение действует еще центробежная сила. Она тем больше, чем круче кривая и выше скорость движения.

Динамическое воздействие, а на кривых участках пути и центробежную силу, учитывают при основных сочетаниях нагрузок наравне с постоянной и временной нагрузками.

При дополнительных сочетаниях принимают в расчет и торможение, поскольку оно действует нерегулярно, хотя воздействие торможения существенно. Развивая большую силу инерции в процессе движения, поезд при торможении передает эту силу на путь. Заторможенные нажатием тормозных колодок колеса, скользящие по рельсам, под действием силы инерции стремятся сдвинуть путь в направлении хода поезда. Этому противодействуют силы трения о балласт подошвы шпал или мостовые брусья, а вместе с ними и само сооружение. Аналогичное продольное воздействие на рельсы, но в сторону, обратную движению поезда, возникает от тягового усилия локомотива.

Давление ветра поперек моста принимают в размере 100 кгс на 1 м² боковой поверхности поезда и конструкции моста. Но так как ветер может быть и сильнее указанного, при котором движение поезда

затруднено, то производят дополнительную проверку на давление ветра— 180 кгс/м^2 , но при отсутствии поезда на мосту.

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.

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.

§ 3. Водный поток и его влияние на работу искусственных сооружений

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.

Водный поток таит большую разрушительную силу и не раз приводил к серьезным повреждениям мостов, труб и насыпей из-за просчетов при их возведении и упущении при эксплуатации. Пересекая реку, мосты изменяют естественные условия водного потока. Особенно наглядно это в период половодья, когда реки выходят из берегов, затопляя прилегающие к руслу поймы. Уровень воды намного повышается против обычного меженного, резко возрастает скорость течения, а с ней и разрушительная сила потока. Поток на поймах в мостовых переходах преграждают насыпи подходов.

Чтобы поток более равномерно и прямоструйно, без завихрений и косины протекал по всей ширине отверстия, т. е. для наибольшей водопропускной способности моста, при значительном поступлении воды с пойм устраивают регулиционные сооружения.

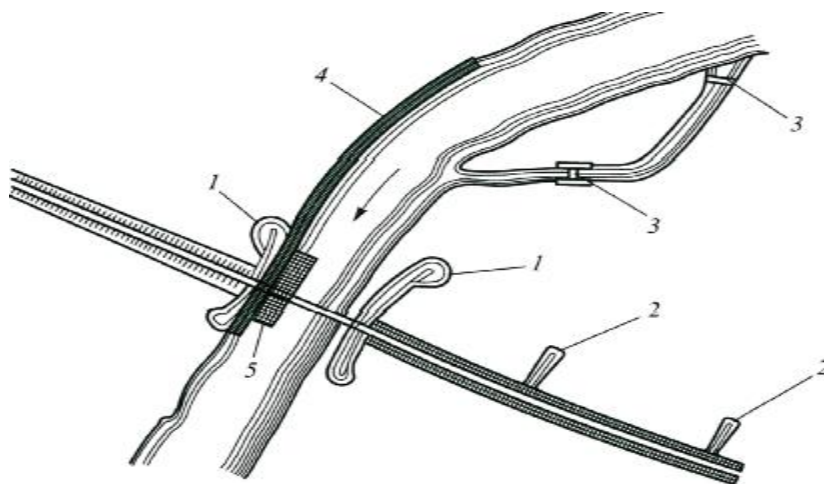


Рисунок 3.1 - Регуляционные сооружения:

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

Вся территория, с которой вода стекает в реку (или ручей), называется водосбором или бассейном данного водотока (рис. 3.2). Границами бассейна являются водоразделы. Водоразделом называется линия, проходящая по наивысшим точкам рельефа.

Водоток образует русло — относительно узкий и наиболее пониженный участок долины. Линия, соединяющая самые низкие 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.

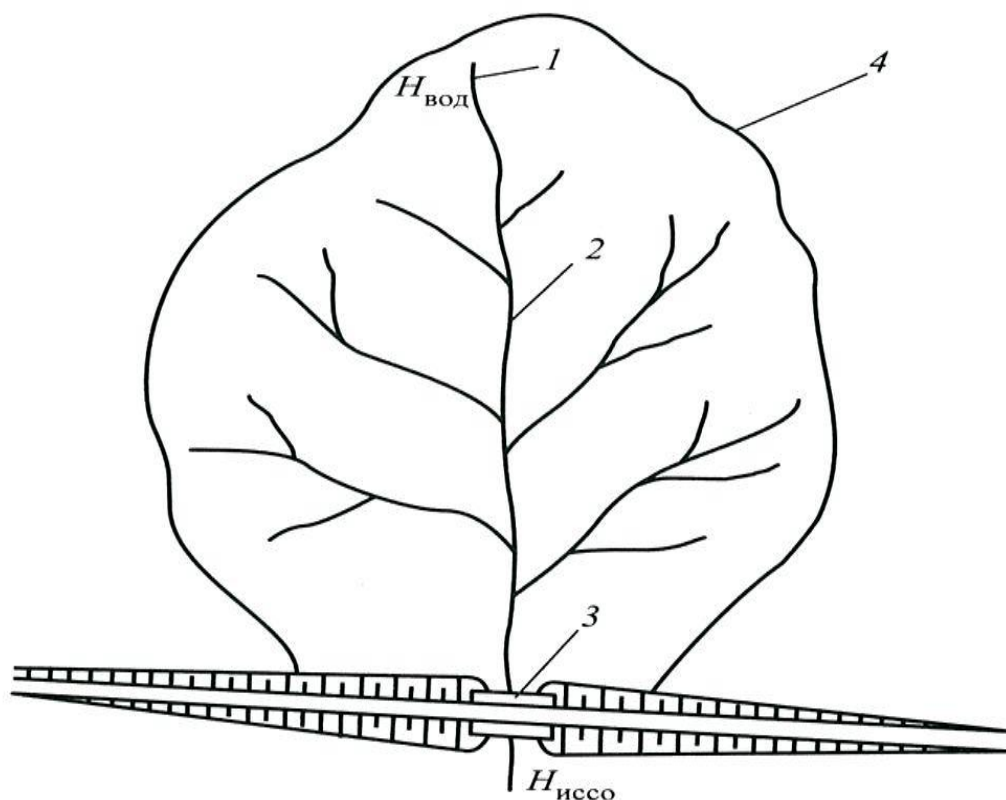


Рисунок 3.2 - Бассейн водотока:

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, м.

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 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.

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 скорость 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) выполняют 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.

§ 4. Эксплуатационные обустройства искусственных сооружений

Искусственные сооружения подвергаются разнообразным воздействиям:

- силовым (постоянные и временные нагрузки),
- физическим,
- химическим,
- действию паводков,
- грунтовых вод,
- обледенению.

Обслуживание сооружений выполняют в условиях движения поездов, в стесненных условиях, на большой высоте, над землей или водой, в труднодоступных местах, при наличии электросетей (в частности контактной сети), находящихся под напряжением. Необходимость в обустройствах возникает в связи с изменением условий службы и эксплуатации (например, появившееся обводнение сооружения, увеличение грузонапряженности линии, электрификация и т. п.), а также с целью совершенствования надзора и ухода за сооружениями и улучшения условий труда.

Защитные: от атмосферных воздействий (гидроизоляция, водоотвод, сливы, дренажи, дренажные штольни, скважины, покрытия — окраска, металлизация, облицовка конструкций, антисептирование древесины); противоразмывные (укрепления откосов насыпей, русел) и льдозащитные; противопожарные.

Обустройства поездной и личной безопасности: охранные приспособления (контррельсы с челноками и охранные брусья или уголки, устройства против провара колес, вкатыватели подвижного состава, габаритные ворота и контрольно-габаритные устройства); сигнальные (заградительная сигнализация для поездов, оповестительная — для обслуживающего персонала; судоходная — для судов); санитарно-защитные (вентиляция в тоннелях, ограждение контактной сети, заземление конструкций, находящихся под напряжением); укрытия (площадки-убежища, камеры, ниши).

Вспомогательные для обслуживания: смотровые приспособления (тротуары с перилами, настил, хода по элементам, люльки подъемные и тележки с путями катания, лестницы по откосам насыпи, спуски на опоры, ограждение опорных площадок, переносные лестницы, лодки, катера); электроосвещение; телефонная связь.

Производственные: продольное энергоснабжение; служебные помещения и мастерские у крупных сооружений.

Защитные обустройства, покрытия. Среди защитных средств многие предназначены для противодействия отрицательному влиянию атмосферных, грунтовых и паводковых вод. Вода, проникая через кладку сооружения, выщелачивает раствор, снижая ее монолитность. Особо разрушительно действуют на кладку агрессивные грунтовые воды, т. е. содержащие такие вещества, как соли кальция и магния, уголекислоту и т. д.

Открытые сверху горизонтальные площадки мостовых опор во избежание скопления воды и проникания ее внутрь кладки снабжают сливами (из тесаного камня или бетона) с приданием им уклона для стока воды.

Противопожарными средствами являются кадки с водой по 200 л и ящики с сухим песком по 0,25 м. Те и другие устанавливают в уровне проезда за пределами, габарита - С приближения строений, на площадках по концам мостов и кроме того, через каждые 50 м (а для деревянных мостов через 25 м) по длине моста.

Тоннели, а иногда и мосты, оборудуют заградительной и оповестительной сигнализацией. Заградительную (обычно световую)

сигнализацию используют для предупреждения и остановки поезда в случае производства работ или наличия дефектов в сооружении, опасных для следования поезда. Оповестительная (обычно звуковая) сигнализация оповещает обслуживающий сооружение персонал о подходе поездов (четного направления — двумя гудками, нечетного — одним).

Санитарно-защитные устройства тоннелей связаны главным образом с необходимостью вентиляции в тех случаях, когда естественное проветривание сооружения не обеспечивает снижения имеющейся его загазованности (от локомотивов и горных пород) до безопасной концентрации. С этой целью, помимо естественной вентиляции через шахтные стволы, оставшиеся со времени постройки тоннеля или специально построенные, применяют искусственную вентиляцию с использованием приточно-вытяжных вентиляционных установок. Их располагают в тех же стволах, но чаще у порталов тоннеля в специальных камерах.

Тротуары и настил позволяют содержать не только путь и мостовое полотно, но и все сооружение, поскольку обеспечивают в интервалы между поездами сквозной проход по мосту, подачу материалов, спуск и подъем к другим частям сооружения, а также общий осмотр его конструкции.

Для детального осмотра и выполнения работ на элементах конструкций вне мостового полотна используют дополнительные смотровые приспособления, соответствующие типу и состоянию сооружения. В большем объеме эти приспособления требуются при появлении массовых дефектов, а также при наблюдениях за опытными конструкциями. Во всех случаях смотровые приспособления располагают вне габарита приближения строений.

Побочные устройства. Большие мосты и тоннели, а также путепроводы (независимо от длины) нередко используются для прокладки по ним линий связи, теплофикации, водопровода. Для них пристраивают к конструкциям сооружения кабельные мостики и траверсы. Высоковольтные линии электропередач, допускаемые к прокладке по мостам лишь в исключительных случаях, подвешиваются к пролетным строениям на безопасном удалении (от 3 до 15 м в зависимости от напряжения в сети) с помощью металлических консолей.

§ 5. Область применения металлических мостов. Виды металлических 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 пере-

крывать сквозными фермами, а малые — балками со сплошной стенкой.

При современных технологиях сплошнотенчатые 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.

§ 6. Конструкция металлических мостов. Основные части металлических мостов

В современном мостостроении пролетные строения металлических мостов выполняют с использованием балочной, арочной, рамной, вантовой статических схем и их комбинаций.

Обычно пролетные строения металлических мостов выполняют с использованием балочной схемы, которая позволяет перекрывать пролеты от 40 до 550 м. Во всех видах балочных пролетных строений под

воздействием вертикальных нагрузок на опорах возникают только вертикальные опорные реакции, что облегчает устройство опор, особенно при их большой высоте. В балочных мостах главными несущими элементами могут быть сплошные балки или сквозные фермы. По статической схеме балочные мосты могут быть разрезными, неразрезными и балочно-консольными.

Разрезные балочные пролетные строения. В составе моста перекрывают по одному пролету, каждый из которых работает независимо от других (рис.6.1, а). При прочих равных условиях это требует больших расходов металла, чем в неразрезных пролетных строениях, работающих совместно. Кроме того, промежуточные опоры разрезных пролетных строений требуют обычно большего расхода материалов, чем опоры неразрезных пролетных строений из-за необходимости установки двух опорных частей на каждой промежуточной опоре (см. рис.6.1, а). В связи с этим разрезные пролетные строения обычно применяют для перекрытия относительно небольших пролетов, когда их недостатки не оказывают существенного влияния на стоимость и металлоемкость моста.

Конструкция разрезных пролетных строений получается простой, легко поддается стандартизации. На работу этих пролетных строений возможные просадки опор не оказывают влияния.

Неразрезные балочные пролетные строения. Перекрывают одной непрерывной конструкцией обычно три или более совместно работающих пролетов (рис.6.1, б). Благодаря совместной работе абсолютные значения изгибающих моментов в неразрезных балках при прочих одинаковых условиях на 35- 45 % меньше, чем в разрезных балках, что позволяет уменьшить расход металла. Экономичность неразрезных пролетных строений нарастает с увеличением пролетов, так как разгружающее действие соседних пролетов более всего проявляется от действия постоянной нагрузки, относительное влияние которой нарастает с увеличением пролетов и доходит до 80 - 90 %. Неразрезные балки весьма удобны при возведении моста методом продольной надвижки и позволяют осуществлять монтаж методом навесной сборки.

Жесткость неразрезных пролетных строений больше, чем разрезных. Кроме того, они обеспечивают более комфортные условия проезда, так как не имеют переломов проезжей части над промежуточными опорами и не требуют устройства над ними деформационных швов.

Недостатками неразрезных балочных пролетных строений являются чувствительность к неравномерным осадкам опор и значительные

перемещения концов балок от изменения температуры, что требует применения более сложных опорных частей и деформационных швов.

В современных условиях, когда освоена технология создания надежных опор для опор мостов в разнообразных условиях, неразрезные балочные пролетные строения нашли широкое применение, особенно при перекрытии больших пролетов (от 60 м и выше).

Балочно-консольная система. По своей работе близка к неразрезной, так как шарниры ставят в зоне нулевых моментов неразрезных балок (рис.6.1, в). Эта система статически определима, в ней не возникают дополнительные усилия в случае просадки опор. Она занимает промежуточное положение по своим свойствам между разрезными и неразрезными балочными пролетными строениями. Но она имеет и ряд недостатков, присущих именно ей. Она более чувствительна к динамическим воздействиям временной нагрузки из-за переломов профиля и шарниров, расположенных в пролете. Устройство сопряжения консольных частей с подвесными пролетными строениями осложняет и удорожает конструкцию моста, а в эксплуатации приносит значительные осложнения. Эти недостатки сильно ограничивают ее применение. При возрастающей конкурентоспособности неразрезных пролетных строений строительство металлических мостов балочно-консольной системы стало большой редкостью, в основном в виде ферм для перекрытия пролетов, близких к 500 м.

Арочные металлические мосты. В качестве основных несущих элементов пролетных строений имеют арки (рис. 6.1, г). Арки являются распорной системой. При действии на них вертикальных нагрузок на опоры передаются не только вертикальные, но и горизонтальные воздействия (распор), что уменьшает усилия в арке, уменьшает расход материала на нее, но увеличивает воздействие на опоры, что усложняет их конструкции. Применение арочных металлических пролетных строений становится рациональным при очень хороших грунтовых условиях и в случаях, когда арки хорошо вписываются в продольный профиль перехода, не вызывая большого увеличения работ по созданию подходов к мосту. Наилучшим образом этому соответствуют горные условия. Металлические арочные мосты возводят также в городах по архитектурным соображениям.

Рамные пролетные строения. В металлических мостах применяют в основном в переходах через большие овраги или в путепроводах (рис.6.1, д). Для путепроводов особенно важна возможность создания конструкций с малой строительной высотой и высокой жесткостью из-за

совместной работы ригеля и стоек. Как и арочная система, рамная является распорной и поэтому требует хороших грунтовых условий или массивных опор. Относительно сложная конструкция узлов сопряжения ригелей со стойками рам снижают применимость рамных металлических мостов.

Байтовые мосты. Имеют в качестве главных несущих элементов пролетных строений балки жесткости и ванты, подвешивающие ее к пилонам, являясь как бы упругими опорами (рис.6.1, ё). Обычно вантовые пролетные строения перекрывают два или три пролета. Они хорошо соответствует строительству методом навесного монтажа.

Вантовые пролетные строения обычно применяют для перекрытия пролетов от 150 м.

Висячие металлические пролетные строения. Используются для перекрытия самых больших пролетов до 2000 - 3000 м (рис. 6.1, ж). Основным несущим элементом в висячей системе служит кабель. Для увеличения жесткости висячей системы устраивают неразрезную балку жесткости.

Кроме основных систем в металлических мостах применяют также комбинированные системы. Обычно комбинированная система создается из балочной усилением ее гибким арочным поясом, который позволяет значительно уменьшить изгибающие моменты в балке.

Важной особенностью всех комбинированных систем является возможность регулирования усилий в основном балочном элементе, что создает экономичную по расходу металла конструкцию.

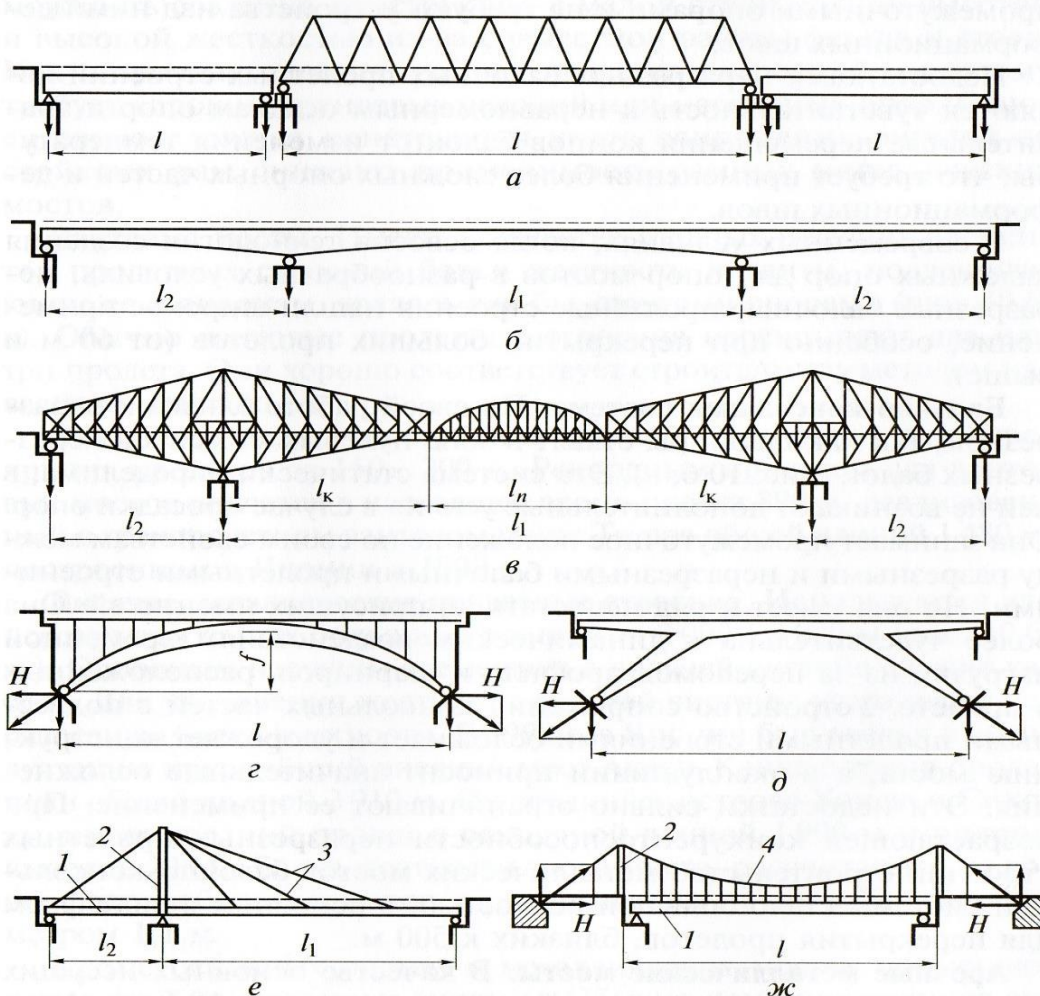


Рисунок 6.1 – Основные системы металлических мостов :
1 – балка жесткости; 2 – пилон; 3 – ванта; 4 – кабель.

Основные части пролетных строений. Стальные пролетные строения мостов (рис. 6.2) 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 статических схем. Они перекрывают пространство между опорами моста, воспринимают постоянную и временную подвижную нагрузку от проезжей части и передают ее опорам.

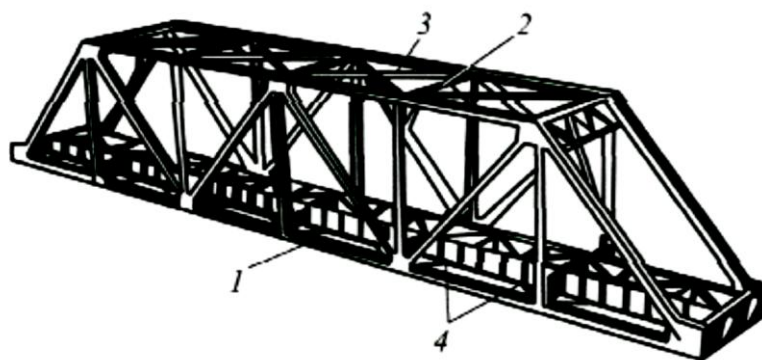


Рисунок 6.2 – Основные части пролетного строения :

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

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. 6.3).

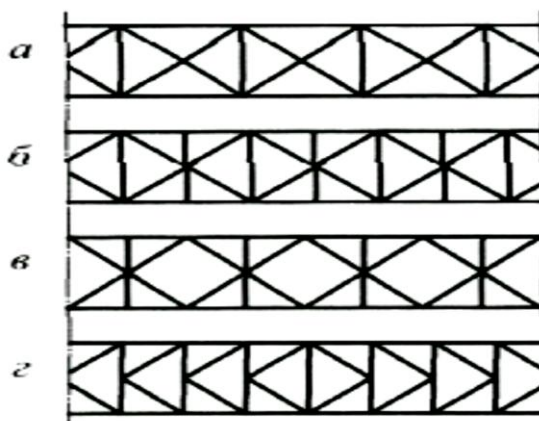


Рисунок 6.3 – Схемы продольных связей между фермами :

а – крестовая; б – с дополнительными распорками; в – ромбическая; г – полураскосная.

§ 7. Конструкция пролетных строений

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 $2h_{\text{ст}}$, где $h_{\text{ст}}$ — 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. 7.1). 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.

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.

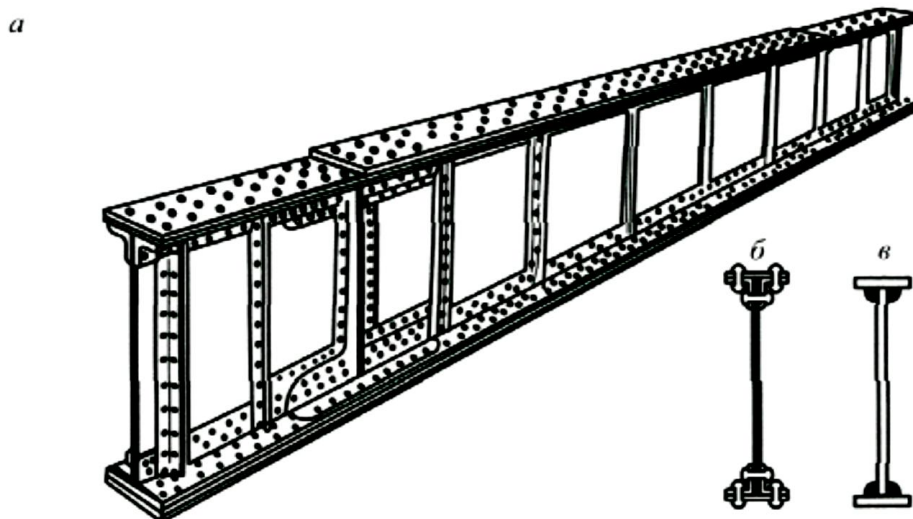


Рисунок 7.1 – Балка со сплошной стенкой :
а – общий вид ; б – сечение клепаной балки ; в – сечение сварной балки .

Главные фермы стальных пролетных строений представляют собой плоские геометрически неизменяемые стержневые конструкции, состоящие из элементов нижнего и верхнего поясов и элементов решетки: раскосов, стоек, подвесок. Пояса и раскосы являются основными конструктивными элементами фермы; стойки, подвески, шпренгели, работающие только на местную нагрузку, называются дополнительными. Пересечения раскосов, стоек, и подвесок с поясами ферм называются узлами ферм, а горизонтальное расстояние между центрами смежных узлов называется панелью (рис. 7.2).

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.

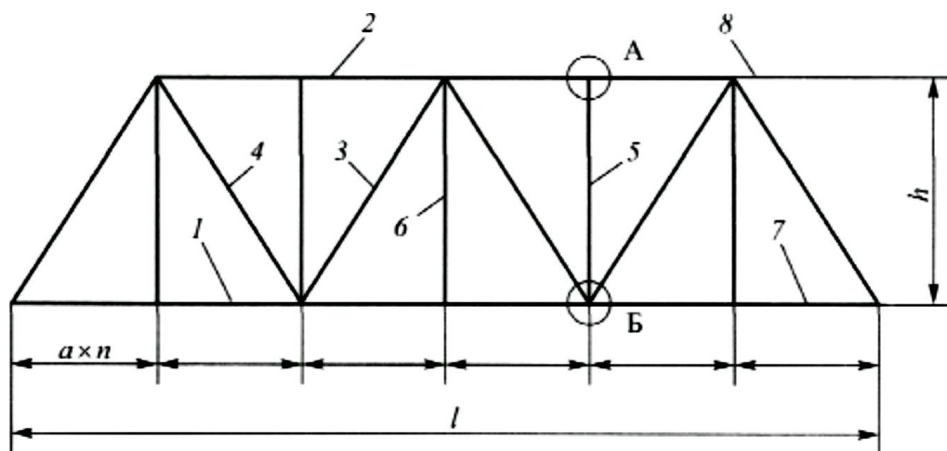


Рисунок 7.2 – Основные конструктивные элементы фермы:

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; а – длина панели; n – количество панелей; l – длина пролетного строения ; h – высота фермы.

Главные фермы имеют раскосную, ромбическую, треугольную, шпренгельную и другие решетки (рис. 7.3 и 7.4). 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 очертания поясов. В фермах с полигональным очертанием усилия в раскосах меньше, чем в ферме с параллельными поясам.

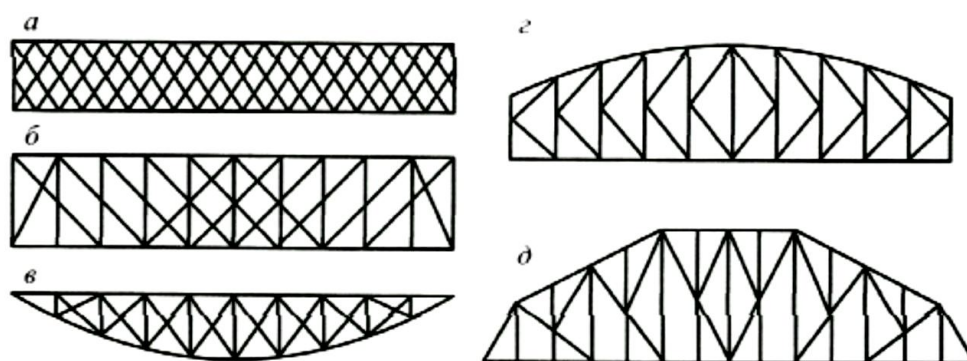


Рисунок 7.3 – Решетка ферм в старых мостах:

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

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

Для главных ферм малых пролетов наилучшей является простая треугольная решетка.

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

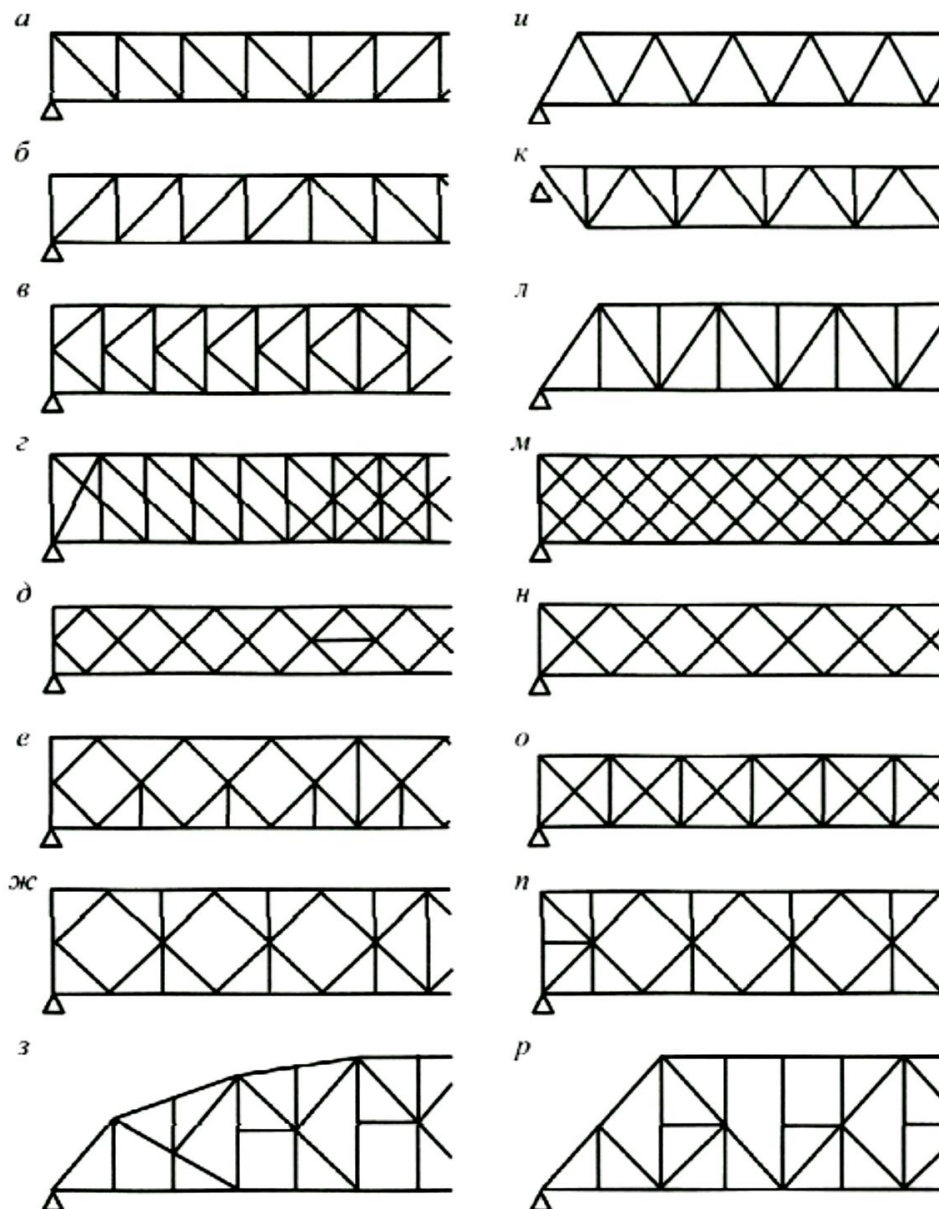


Рисунок 7.4 – Схемы решеток ферм :

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

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 см. Для возможности установки пролетных строений на

существующие опоры необходимый расчетный пролет получается путем изменения длины крайних панелей ферм.

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

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

Угол наклона раскосов влияет на конструкцию узлов фермы. Наивыгоднейшим углом наклона раскосов к горизонтали является $40—50^\circ$. При значительном отклонении угла наклона от 45° 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.

§ 8. Элементы ферм и их узловые соединения . Тормозные системы

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. 8.1, 8.2).

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.

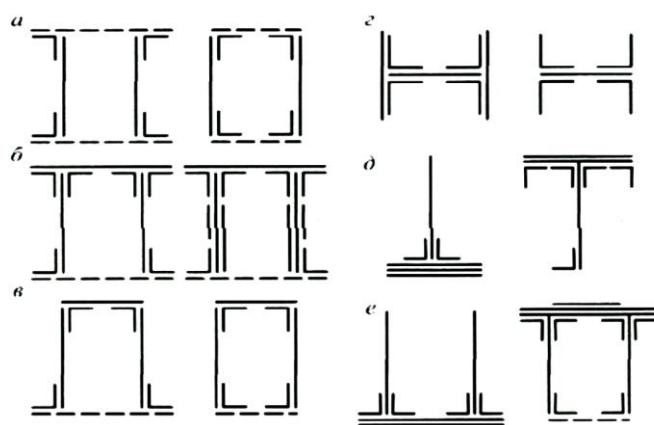


Рисунок 8.1 – Сечение поясов сквозных ферм:

а – 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, требованиями 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.

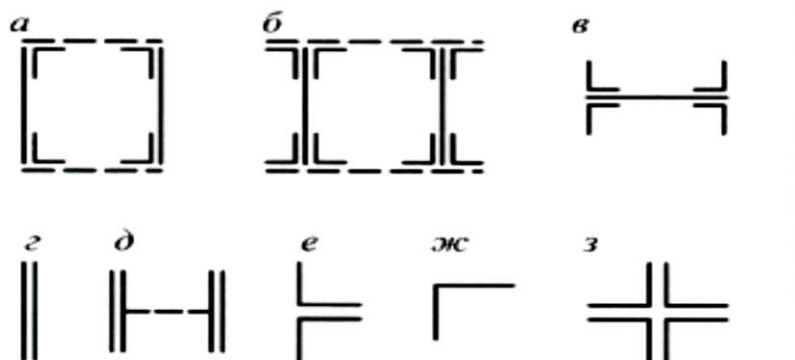


Рисунок 8.2 – Сечение решетки ферм:
а, б – швеллерные ; в – двутавровое ; г,д – плоские ; е,ж,з – уголкового.

Узлы главных ферм представляют собой соединения концов элементов, оси которых сходятся в одной точке — центре узла .

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 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 уголкового или таврового, при больших усилиях и длине сечения двутаврового.

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 верхних продольных связей на опоры. Они располагаются по концам пролетных строений в плоскостях опорных раскосов или стоек или первых подвесок главных ферм.

§9. Проезжая часть, ее элементы и виды сопряжения

Проезжая часть металлических железнодорожных мостов устраивается на продольных и поперечных балках пролетных строений (рис.9.1).

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

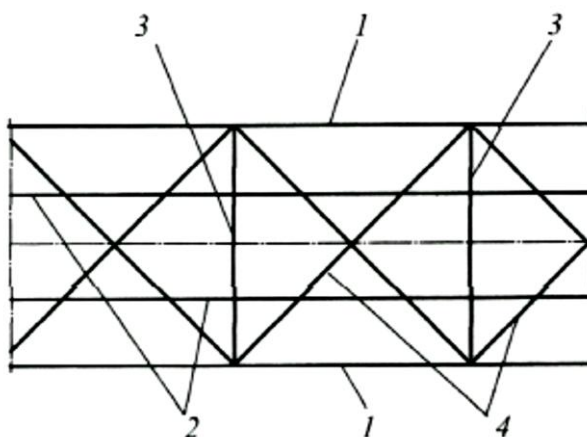


Рисунок 9.1 – Проезжая часть металлической фермы :

1 – нижний пояс фермы ; 2 – продольные балки ; 3 – поперечные балки ; 4 – тормозные связи.

§10. Устройство мостового полотна и железнодорожного пути.

На металлических железнодорожных мостах мостовое полотно может быть следующих видов:

- на балласте (рис. 10.1, в);
- на мостовых деревянных брусках (поперечинах) (рис. 10.1, а, б);

- на стальной ребристой плите;
- на металлических поперечинах;
- на сплошном бетонном основании (железобетонная плита без балласта) (рис. 10.1, з).

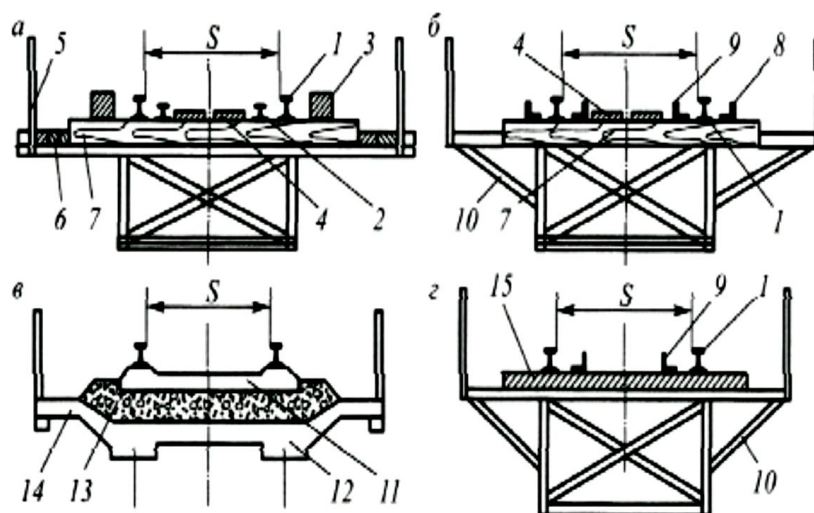


Рисунок 10.1 – Конструкция мостового полотна на балласте :

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.

Мостовое полотно с ездой на балласте состоит из путевых рельсов, контруголов, 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 брусьях. Мостовые брусья 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. Уравнильный прибор состоит из рамного и острякового рельсов, прикрепляемых к металлической плите. На однопутных мостах уравнильные приборы укладываются над подвижным концом ферм остряком поперечно в направлении преимущественного движения.

Контррельсы или контруголки располагаются внутри колеи параллельно путевым рельсам (рис. 10.2). Они должны укладываться на мостах длиной более 25 м и на всех мостах, расположенных на кривых радиусом менее 1000 м, для направления подвижного состава, сошедшего с рельсов перед мостом или на самом мосту. Контррельсы (контруголки) протягиваются до задней грани устоя, далее концы контррельсов сводятся вместе «челноком», «челнок» заканчивается башмаком или скосом концов контррельсов (рис.10.3). Контррельсы применяются на один тип легче путевых рельсов, лежащих на мосту, а контруголки — сечением не менее $160 \times 160 \times 16$ мм.

Расстояние до контррельсов и контруголков от внутренней грани головки путевых рельсов Р50 принимается 220—240 мм, а для 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.

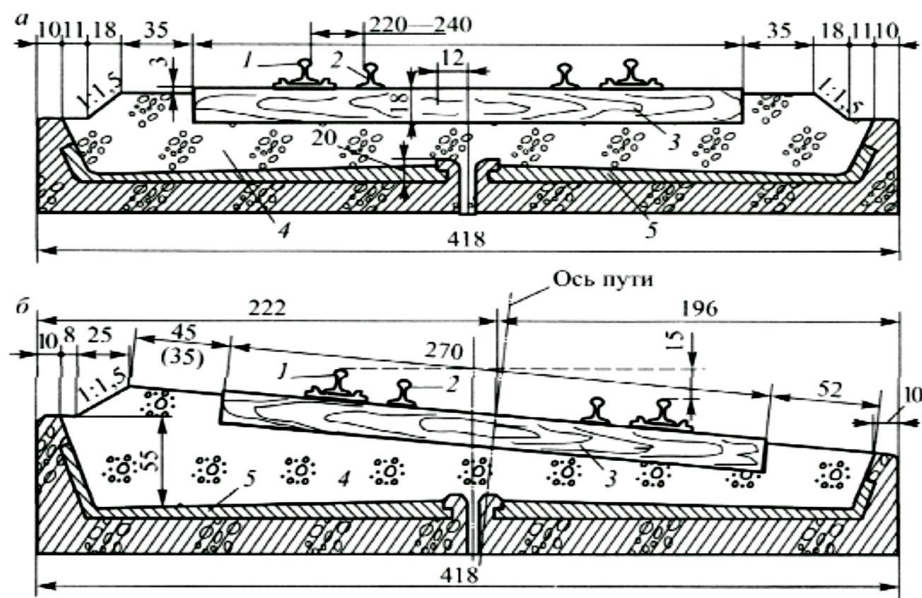


Рисунок 10.2 – Разновидности конструкций мостового полотна :

а – 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).

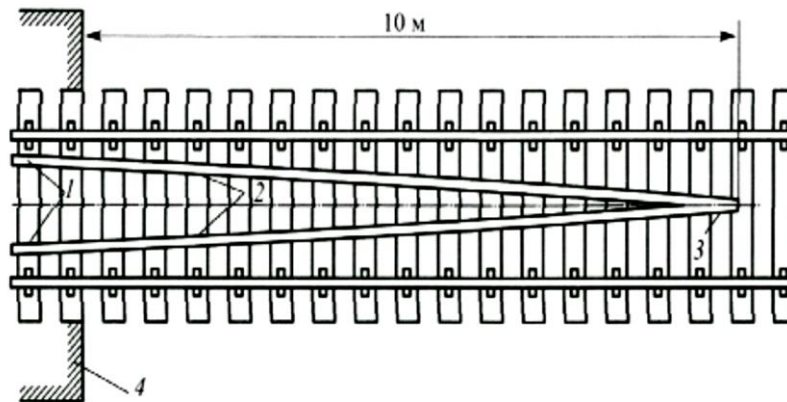


Рисунок 10.3 – Контрельсы на мосту и подходах :
1 – контрельсы (контруголки); 2 – челнок ; 3 – башмак ; 4 – задняя грань устоя.

Противоугольные (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.

Противоугольные (охранные) брусья и охранные уголки служат для предупреждения продольного угона и выкантовывания мостовых брусьев, а также для направления вдоль моста, сошедшего с рельсов подвижного состава в случае повреждения контрельсов (контруголков). Мостовые брусья соединяются с противоугольными врубками глубиной 3 см. Противоугольный брус скрепляется с каждым мостовым брусом болтом. Охранные брусья стыкуются впритык между мостовыми брусьями. Противоугольные (охранные) уголки прикрепляются к каждому мостовому брусшу 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 раздельных 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 совместную 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.

§11. Опорные части

Опорные части мостов, в зависимости от возложенных на них функций, делятся на подвижные и неподвижные (рис. 11.1 и 11.2).

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 смещению 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.

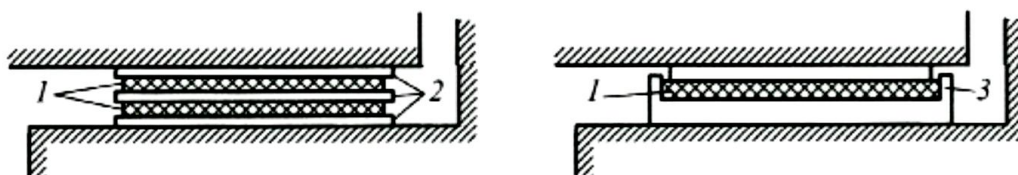


Рисунок 11.1 - Резиновые опорные части:

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

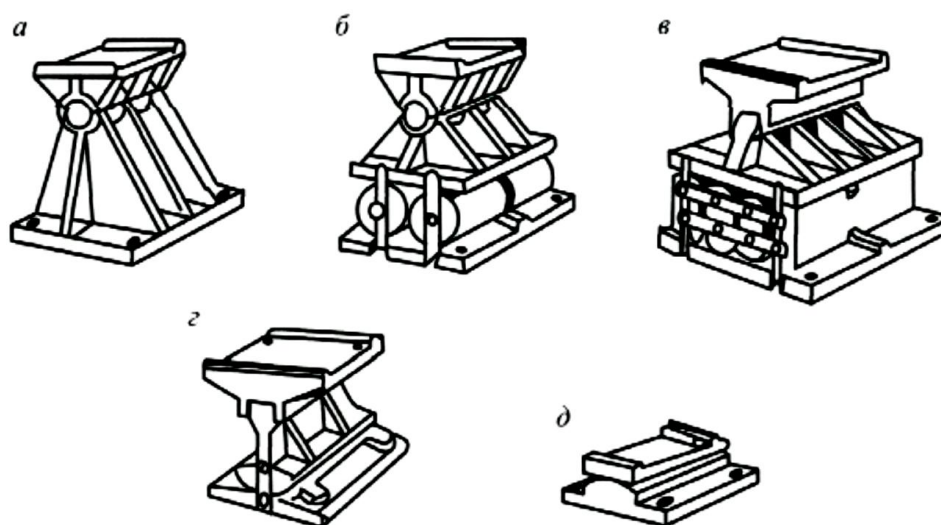


Рисунок 11.2 - Катковые опорные части:

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

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 нижний стальной лист впрессовывается штырь диаметром 50 мм, а в верхнем листе просверливается круглое отверстие в неподвижной опорной части и вырезается овальное отверстие в подвижной. 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 балансир.

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.

§12. Надзор и уход за металлическими пролетными строениями. Основные неисправности металлических пролетных строений и способ их устранения

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

Признаками, указывающими на наличие трещин в элементах, являются характерные полосы ржавчины, выступающие на поверхности металла по краю трещины, наличие ржавых потеков. Окраска в месте образования трещины трескается, шелушится. Трещины, значительные по длине, перекрываются накладками на высокопрочных болтах или заклепках. Все дефекты в металлических частях в виде трещин, расслоений металла, местных погнутостей, вмятин, надрывов должны быть исправлены немедленно или в плановом порядке в зависимости от серьезности дефекта и влияния его на безопасность движения. Сварные соединения элементов подлежат тщательному осмотру. Перед осмотром сварных швов и околошовной зоны нужно очистить поверхность до металла и рассмотреть через лупу.

Коррозия металлических конструкций является результатом электрохимических процессов, возникающих под действием на металл жидкостей, проводящих электрический ток. В металлических пролетных строениях коррозия происходит в тех местах, где задерживается влага и нет достаточного проветривания. Поэтому все эти места нужно очищать от грязи, сора и чаще подкрашивать. Все элементы металлических пролетных строений периодически должны точищаться. Эта трудоемкая операция механизмуется и производится сжатым воздухом с применением пескоструйных аппаратов. При малом объеме эта работа производится вручную (скребками, металлическими щетками). Для защиты от коррозии пролетных строений они окрашиваются. Сроки повторной окраски устанавливаются в зависимости от состояния старой окраски.

Элементы, плохо проветриваемые и наиболее подверженные ржавлению, окрашиваются чаще других. Для окраски применяют масляные краски на натуральной олифе: свинцовые белила, сурик, цинковые белила, железный сурик и др. На грузонапряженных линиях

элементы, сильно подверженные ржавлению, защищаются от коррозии посредством металлизации (покрытие металлической пленкой) с последующей окраской. Окраска производится механизированным способом с помощью краскораспылителей. Окраска небольших поверхностей производится вручную кистями. Пролетные строения окрашиваются с подвесных подмостей, люлек и других приспособлений, обеспечивающих безопасность работ. Не допускается окраска по сырым поверхностям и при температуре ниже +5 °С.

Ремонт металлических конструкций заключается в постановке накладок, правке погнутых элементов, выправке опорных частей. Когда грузоподъемность пролетных строений оказывается ниже обращаемой подвижной нагрузки, производится их усиление. Усиление пролетных строений может выполняться за счет увеличения площади поперечного сечения элемента; устройства дополнительных ферм, балок или раскосов, чтобы передать на них часть нагрузки; изменения системы ферм посредством превращения разрезных ферм в неразрезные; устройства дополнительных опор, уменьшающих расчетный пролет, и других мероприятий.

Непосредственно влияющее на безопасность движения мостовое полотно должно содержаться в безукоризненном состоянии.

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

§13. 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.

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 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. 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 бетонируемой конструкции. 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, невыветривающихся 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 марتنевской и конвекторной стали, горячекатаные стержни периодического профиля из более прочной углеродистой стали.

§14. Основания и фундаменты опор

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, известняк, 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 мелкого заложения (до 6 м в открытых котлованах) и глубокого.

§15. Фундаменты мелкого заложения

Когда грунты, залегающие в основании, по своим физико-техническим свойствам и расчетным характеристикам позволяют устроить фундамент сооружения на небольшой глубине, сооружаются фундаменты мелкого заложения, обычно в открытых котлованах (рис. 15.1).

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 меженных 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.

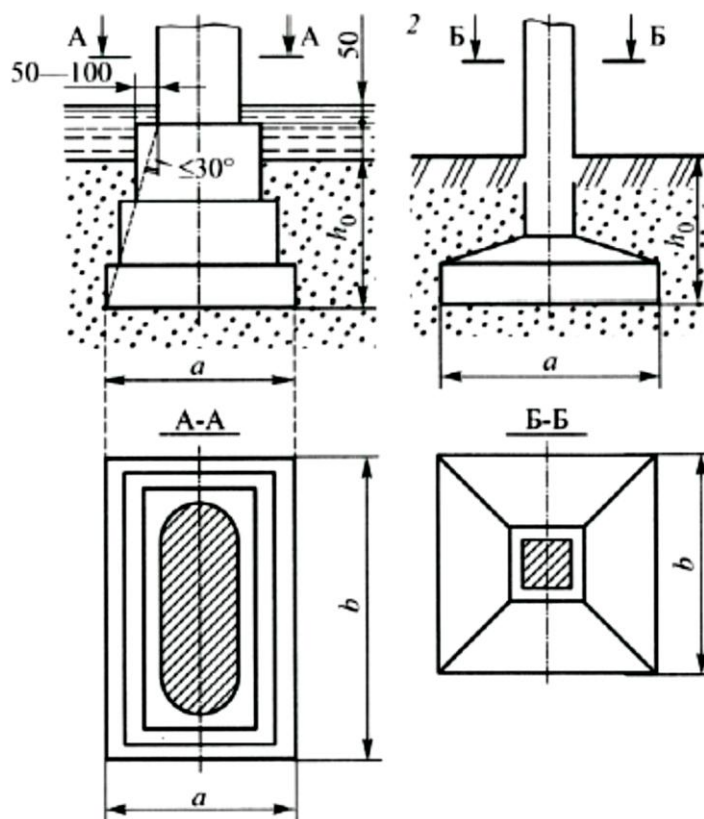


Рисунок 15.1 - Фундаменты мелкого заложения:

1 – фундамент опоры в русле реки ; 2 – фундамент опоры на сухом месте ; h_0 – глубина заложения фундамента 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: сцементированные (скальные) и несцементированные (рыхлые).

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

Фундаменты мелкого заложения, как правило, имеют прямоугольные очертания в плане. В слабых грунтах фундаментам придается ступенчатая форма для получения наибольшей площади подошвы фундамента.

§16. 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. 16.1).

По виду материала сваи бывают: деревянные, железобетонные, стальные, фунтовые, комбинированные и др.

По способу погружения различают сваи: забивные, камуфлетные, буровые, винтовые, набивные (рис.16.2).

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 распределения давления на сваи.

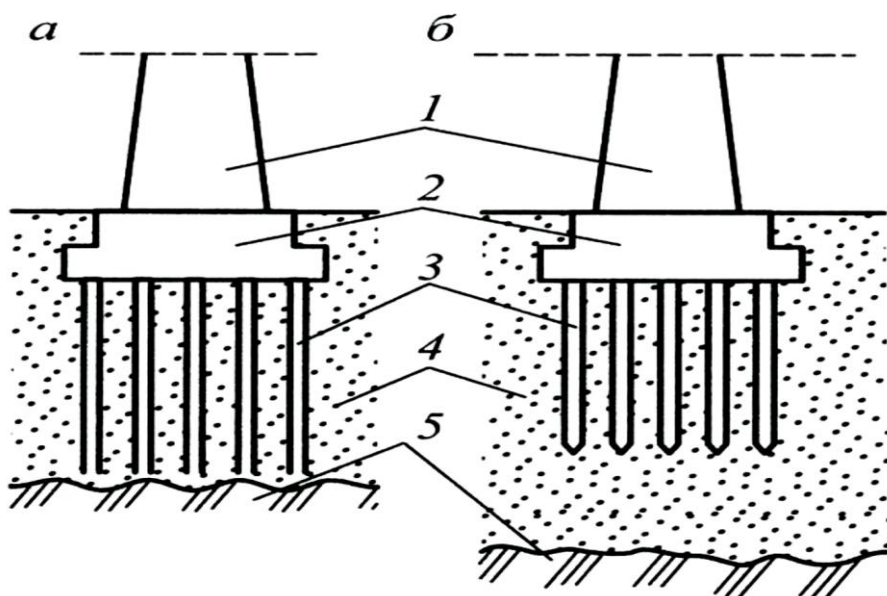


Рисунок 16.1 - Виды свай по характеру работы:
а — сваи-стойки ; *б* — висячие сваи; 1 — тело опоры; 2 — ростверк; 3 — сваи; 4 — слабые грунты; 5 — прочные грунты.

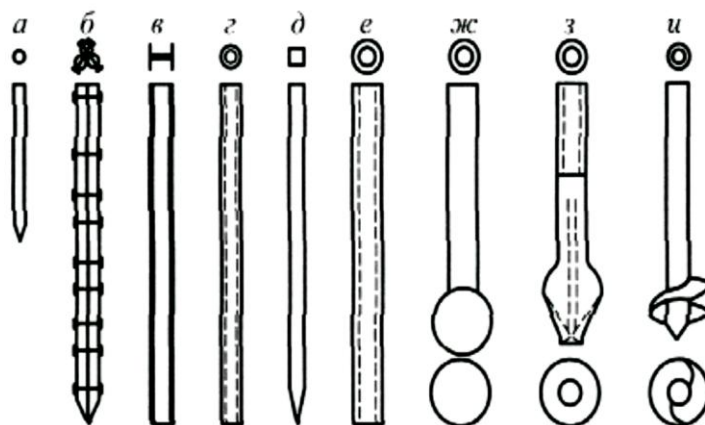


Рисунок 16.2 - Различные виды свай:
а — деревянные одиночные; *б* — деревянные составные; *в* — металлические из двутавров; *г* — из труб; *д* — железобетонные массивные; *е* — пустотелые; *ж, з* — трубой железобетонные с уширениями; *и* — винтовые

По расположению относительно поверхности грунта свайные ростверки бывают низкие и высокие (рис. 16.3). 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).

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 допустимое напряжение на грунт. Бетонирование ростверка осуществляется в опалубке, подвешенной к головкам свай.

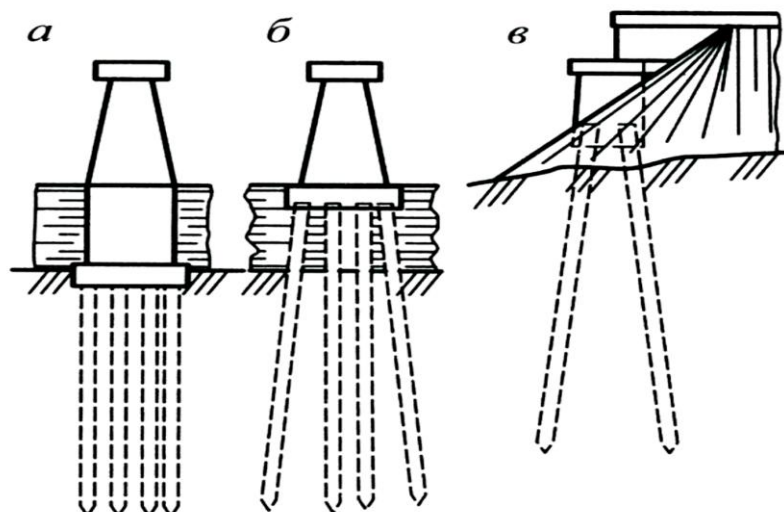


Рисунок 16.3 - Свайный ростверк:
а — низкий; б — высокий в воде; в — высокий в насыпи

Деревянные сваи изготавливают из круглого леса хвойных пород (рис. 16.4). 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 притупляется. 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).

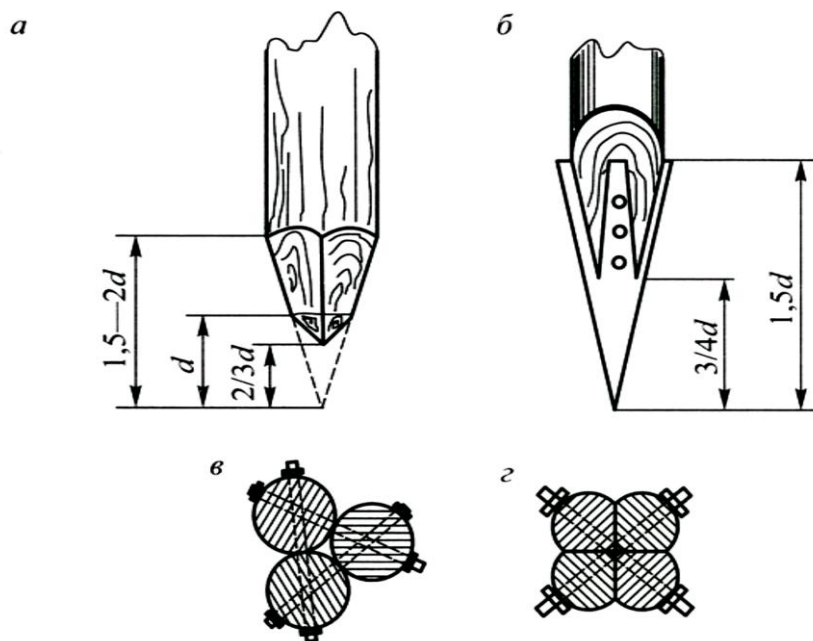


Рисунок 16.4 - Конструкция деревянных свай:
а — с заострением; б — с металлическим башмаком; в, г — пакетные сваи

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 продольными стержнями и хомутами. Диаметр продольных стержней арматуры в зависимости от сечения и длины свай 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. 16.5). 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 концесваи 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.

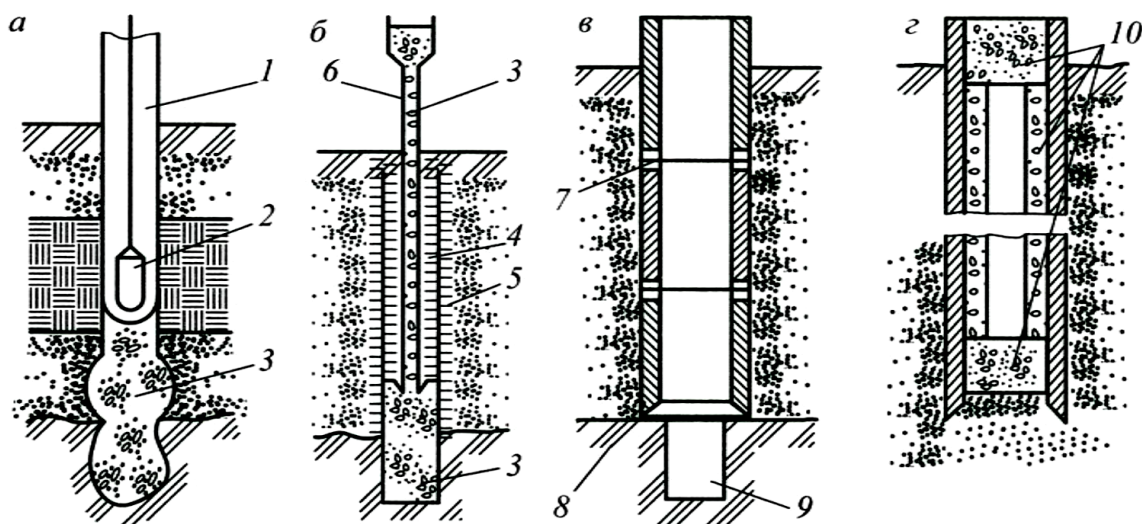


Рисунок 16.5 - Буровые сваи и оболочки:

a — 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.

§17. 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. 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. 17.1).

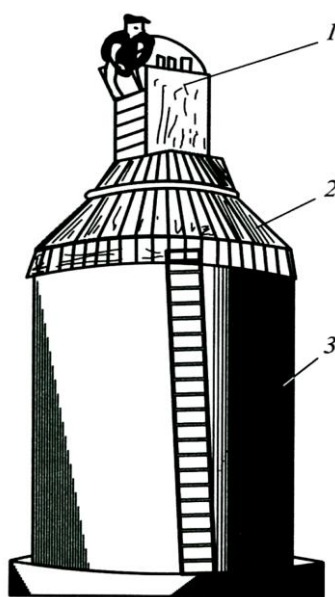


Рисунок 17.1 - Погружение оболочки:
1 — вибропогружатель; 2 — наголовник; 3 — оболочка

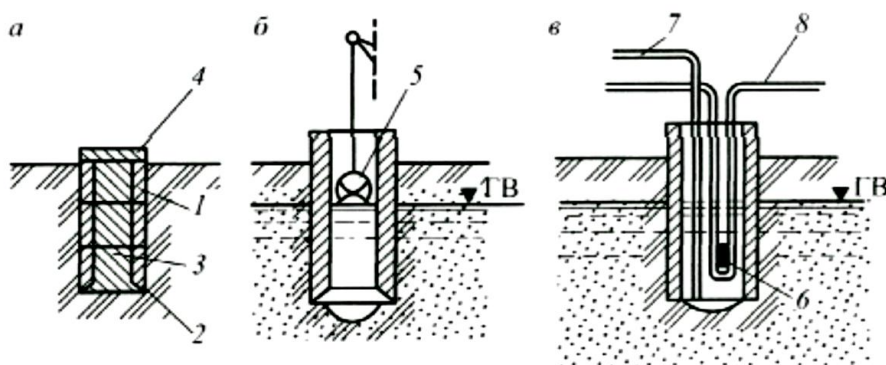


Рисунок 17.2 - Опускной колодец:

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. 17.2) 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.

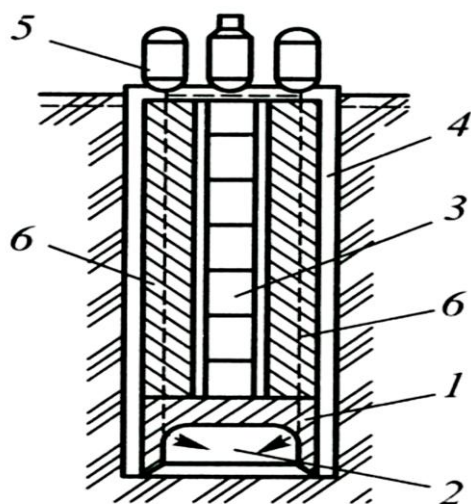


Рисунок 17.3 - Кессонная установка:

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

Кессоны представляют собой прочную водонепроницаемую камеру, образованную боковыми стенками и потолком (рис. 17.3). 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.

§18. Конструкция устоев и быков

Промежуточную опору (бык) можно условно разделить на три конструктивных элемента: подферменную плиту (оголовок), тело опоры, фундамент (рис. 18.1). Размеры оголовков в плане назначают из условия размещения опорных частей. Расстояние между осями опорных частей определяется типом пролетного строения и его длиной.

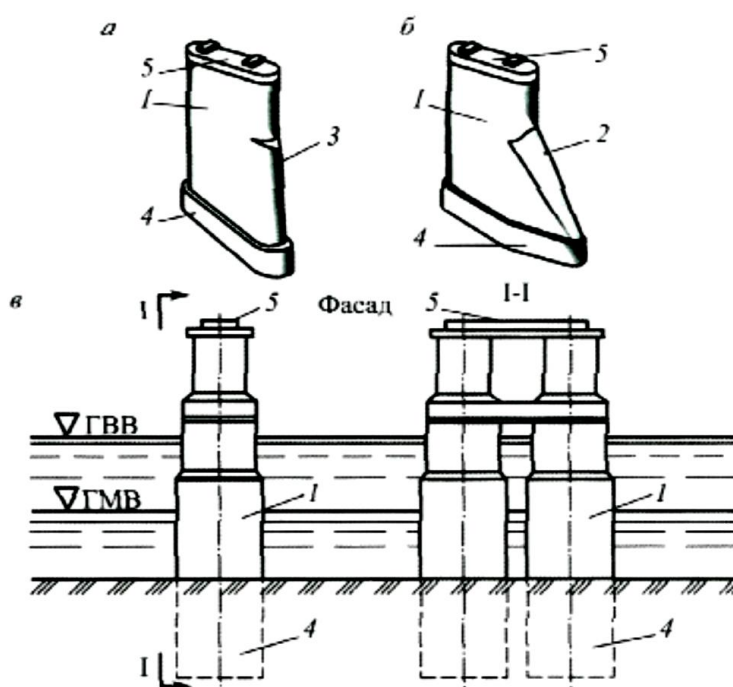


Рисунок 18.1 - Промежуточные опоры (быки):

а — 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

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 сечении 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 поперху мощной железобетонной подферменной плитой.

В опорах высотой более 6 м (от ГМВ до подферменной плиты) между колоннами устраивается 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.

Концевые опоры (устои) — предназначены для сопряжения моста насыпью и опирания на них крайнего пролетного строения. Конструктивные формы устоев разнообразны (рис. 19.2). Условно конструкции устоев можно разделить на необсыпные и обсыпные. В необсыпных конус 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.

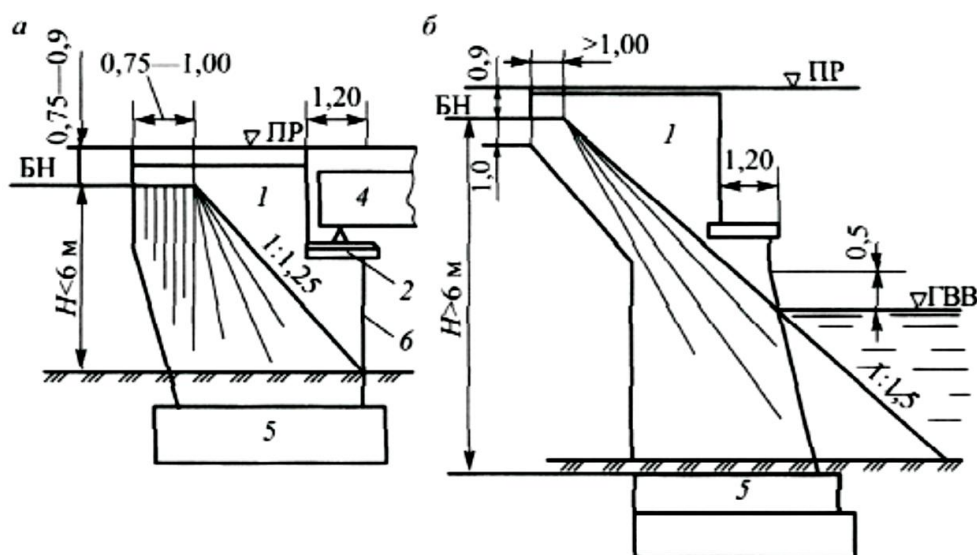


Рисунок 18.2- Концевые опоры (устои):

a — необсыпной устой; *б* — обсыпной устой; 1 — тело устоя; 2 — подферменная плита; 3 — опорная часть; 4 — пролетное строение; 5 — фундамент; 6 — передняя стенка устоя; БН — бровка насыпи; ПР — отметка уровня подошвы рельса

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.18.3).

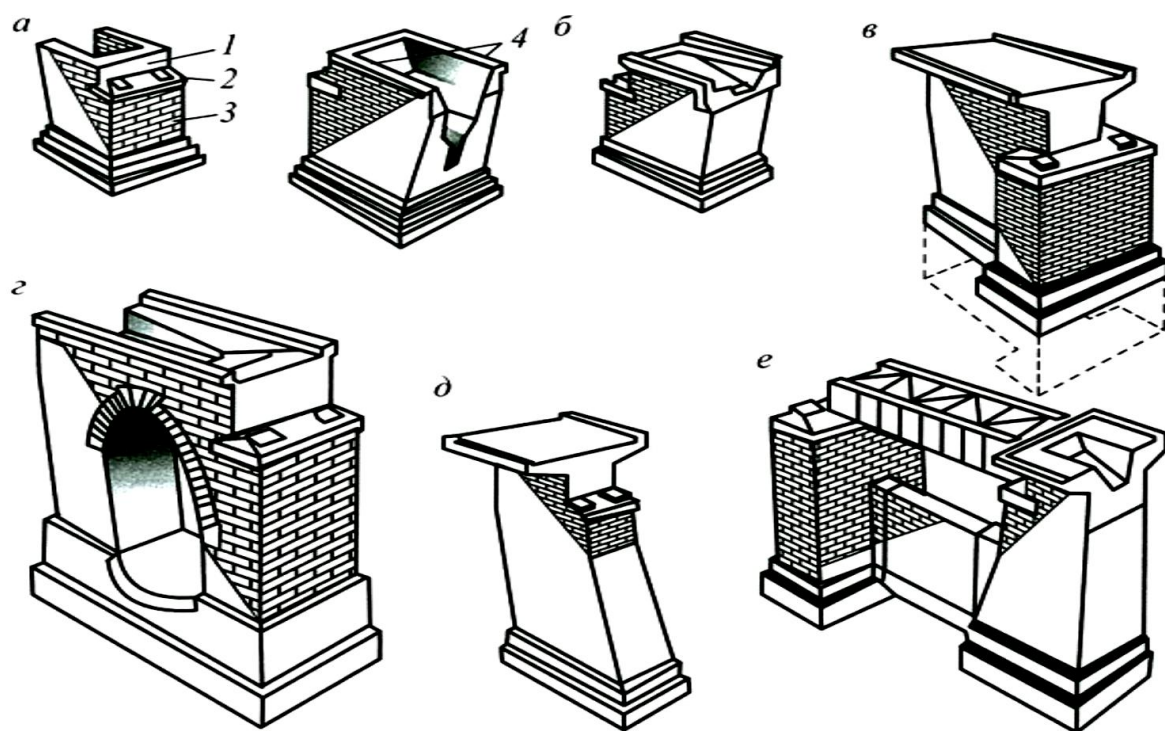


Рисунок 18.3- Виды устоев:

а — с обратными стенками ; *б* — массивный; *в* — Т-образный; *г* — с проемом; *д* — обсыпной; *е* — раздельный; 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 свехуплоскости 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.

§19. Эксплуатация опор. Защита поверхности опор

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.

§20. Конструкция 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 натурального камня или из искусственного (кирпич, бетонные блоки). Для каменных мостов характерна сводчатая конструкция, 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) 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. 20.1). 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.

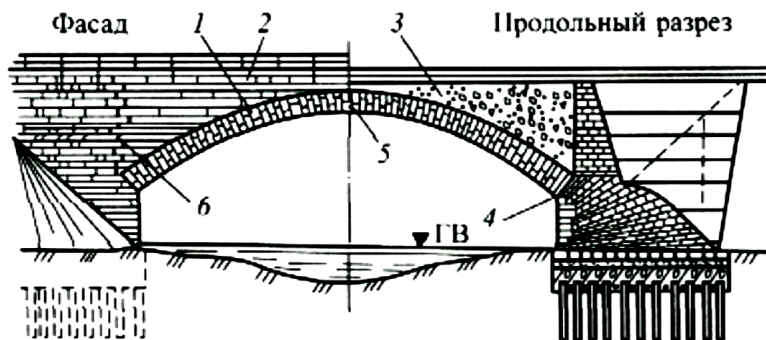


Рисунок 20.1 - Конструктивные части каменного моста:

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

Расстояние между центрами пьт называется расчетным пролетом свода (l), а расстояние между гранями опор — пролетом в свету; расстояние по вертикали между центрами сечений в замке и в пьте 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 пьтах) и трехшарнирными (шарниры в пьтах и замке) (рис. 20.2). 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 пьте свода), что позволяет уменьшить размеры опор.

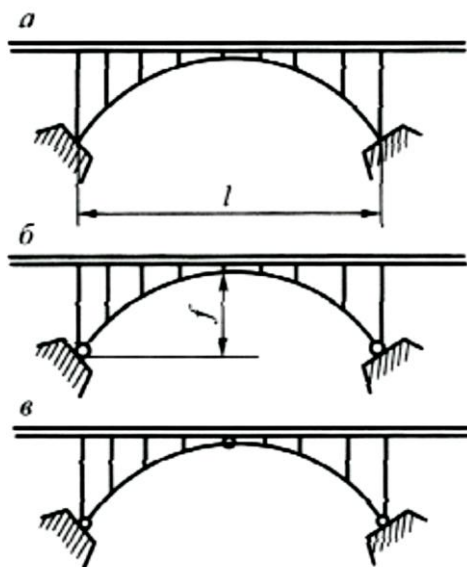


Рисунок 20.2 - Схемы арок:
 a — бесшарнирная; $б$ — двухшарнирная; $в$ — трехшарнирная

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).

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 полустой 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.

§21. Разновидности и эксплуатация каменных и бетонных мостов

Основным элементом каменного моста является свод, опирающийся на опоры. Над сводом устраивается надсводное строение.

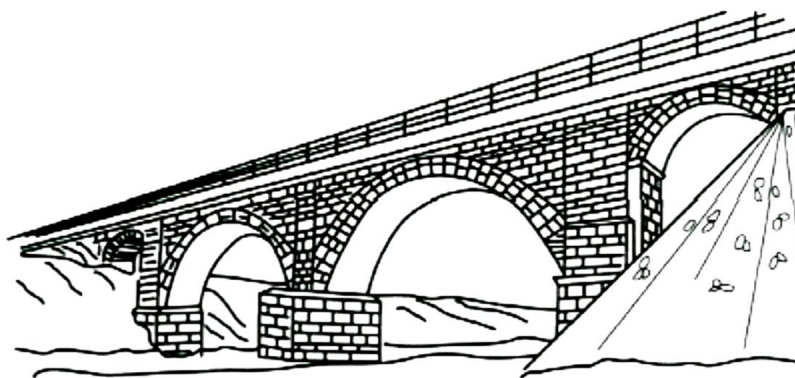


Рисунок 21.1 - Общий вид каменного моста



Рисунок 21.2 - Общий вид бетонного моста со сквозным надводным строением

В мостах со сплошным надсводным строением щечовые стенки служат для ограждения заполнения пазух и балластного слоя, воспринимая горизонтальный распор от засыпки (рис. 21.3). Толщина щечовых 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. 21.4 , 21.5).

В таких мостах пролетное строение состоит из поперечных стен и сводиков между ними. По этим сводам между щекowymi стенками 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 щечковых стенок от разрушения. Деформационные швы устраивают в каменных мостах при пролетах более 15 м, а в бетонных — более 10 м. Швы располагают у пят бесшарнирных сводов. Толщина швов в щечковых 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. В бесшарнирном своде такого поворота сечения не происходит, в результате возникают дополнительные напряжения в кладке.

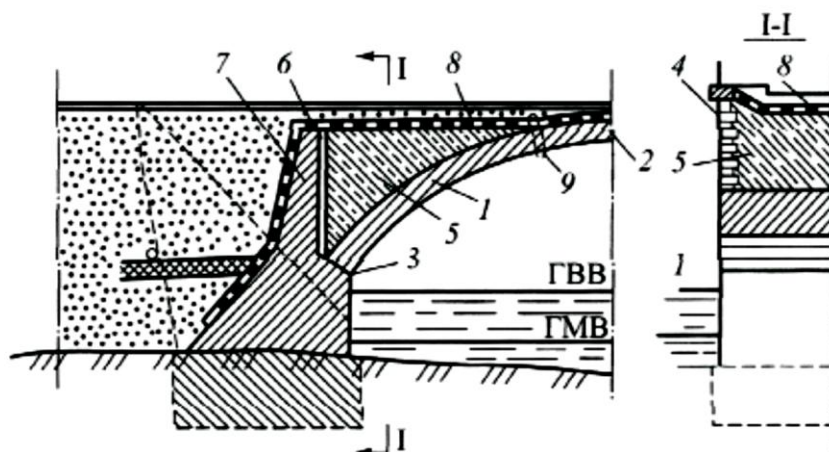


Рисунок 21.3 - Основные конструктивные элементы моста со сплошным надсводным строением:

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

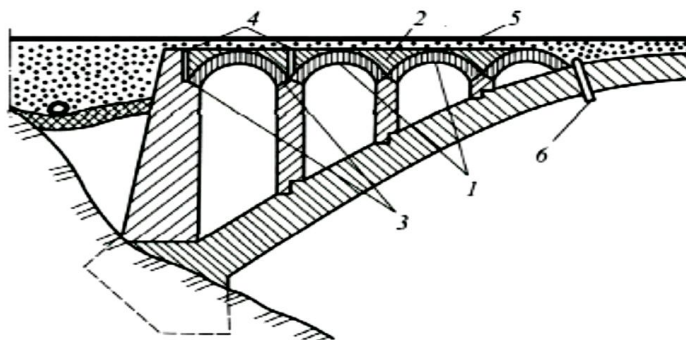


Рисунок 21.4 - Конструкция сквозного пролетного строения:

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

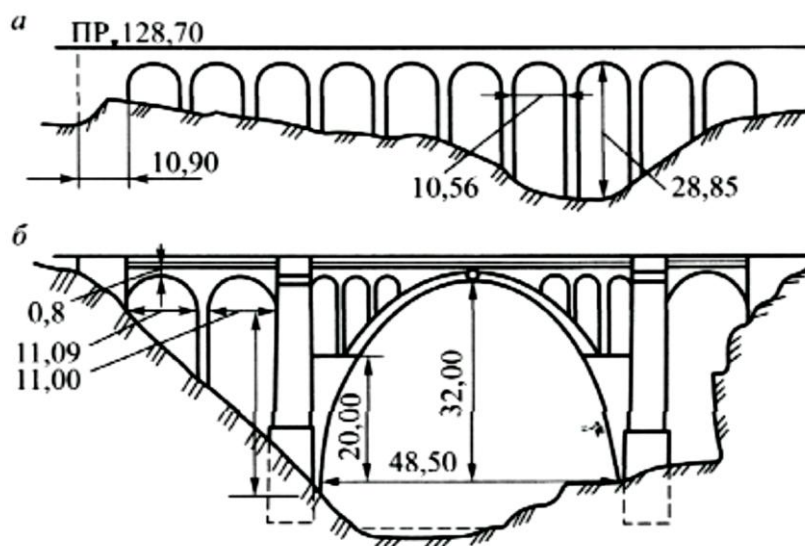


Рисунок 21.5 - Каменные мосты из аркад:
а — со сводами малых пролетов ; *б* — с одним сводом большого пролета

Порядок надзора за всеми трещинами в каменных , бетонных мостах аналогичен порядку надзора за трещинами в массивных опорах. Мероприятия, выполняемые при расшивке швов и заделке трещин, также аналогичны рассмотренным ранее в §19 . При содержании массивных мостов особого внимания требует состояние гидроизоляции и нормальный отвод воды.

§22. Конструкция железобетонных мостов. Системы и виды железобетонных мостов

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. 22.1). Конструкция 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.



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

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. 22.2). 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.

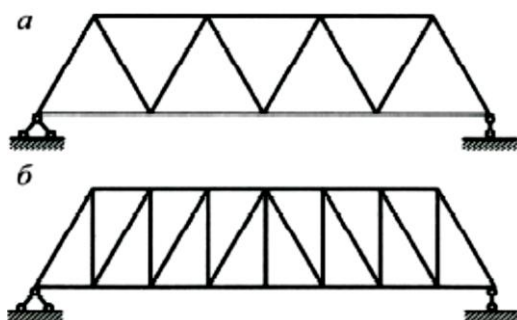


Рисунок 22.2 - Типы железобетонных ферм:
а — с треугольной решеткой; б — с раскосой решеткой

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. 22.3). При загрузении рамного моста изгибающие моменты в ригеле получаются несколько меньше, чем в неразрезной балке тех же пролетов. Опорные стойки рамных мостов имеют значительно меньшие размеры по сравнению с опорами для балочных пролетных строений, так как их размеры во многом определяются условиями размещения на оголовках опорных частей. Поэтому рамные мосты экономичнее балочных по расходу бетона. Работающие на сжатие с изгибом стойки требуют мощного армирования, что увеличивает 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.

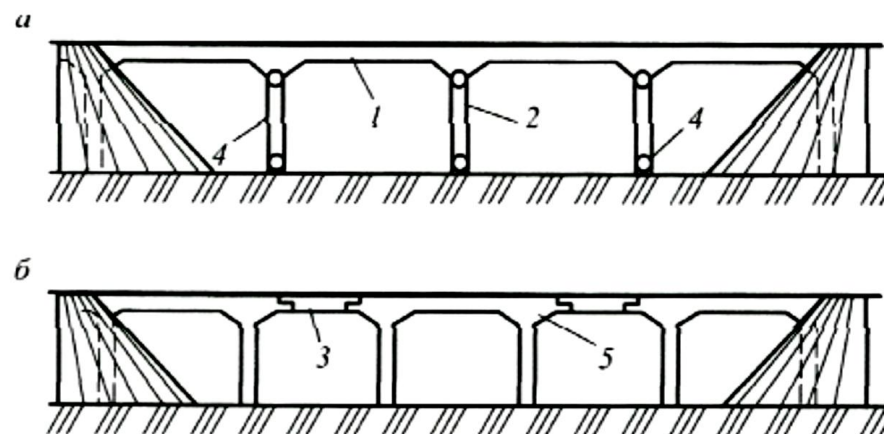


Рисунок 22.3 - Схемы рамных мостов:
а — с шарнирами в стойках ; б — с заделкой стоек; 1 — ригель; 2 — стойка; 3 — подвесная балка; 4 — шарнир; 5 — консоль

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. 22.4). 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 м; 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. 22.5). 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 большие распоры требуют устройства мощных фундаментов и опор.

При слабых грунтах основания арочная система может быть вообще нерациональной.

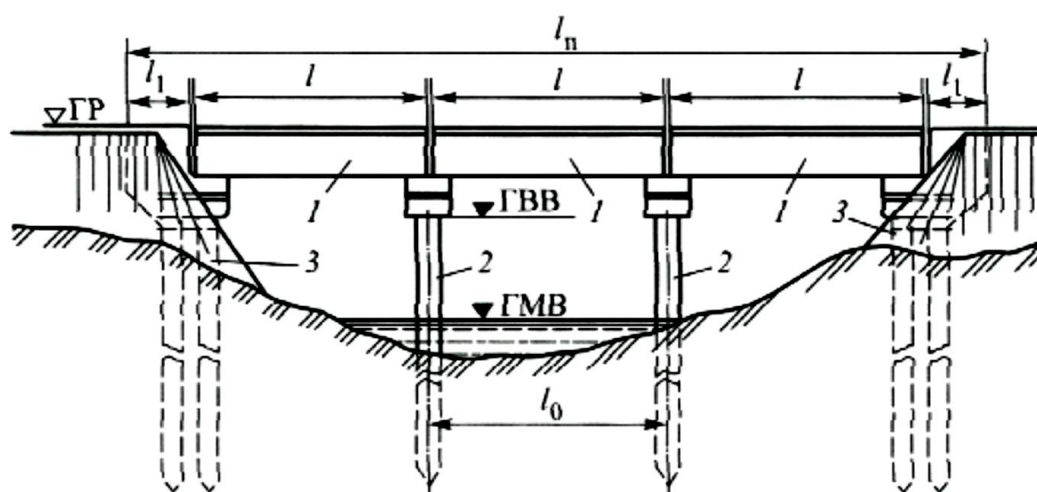


Рисунок 22.4 -Свайно-эстакадный мост:

l — 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_n — полная длина моста

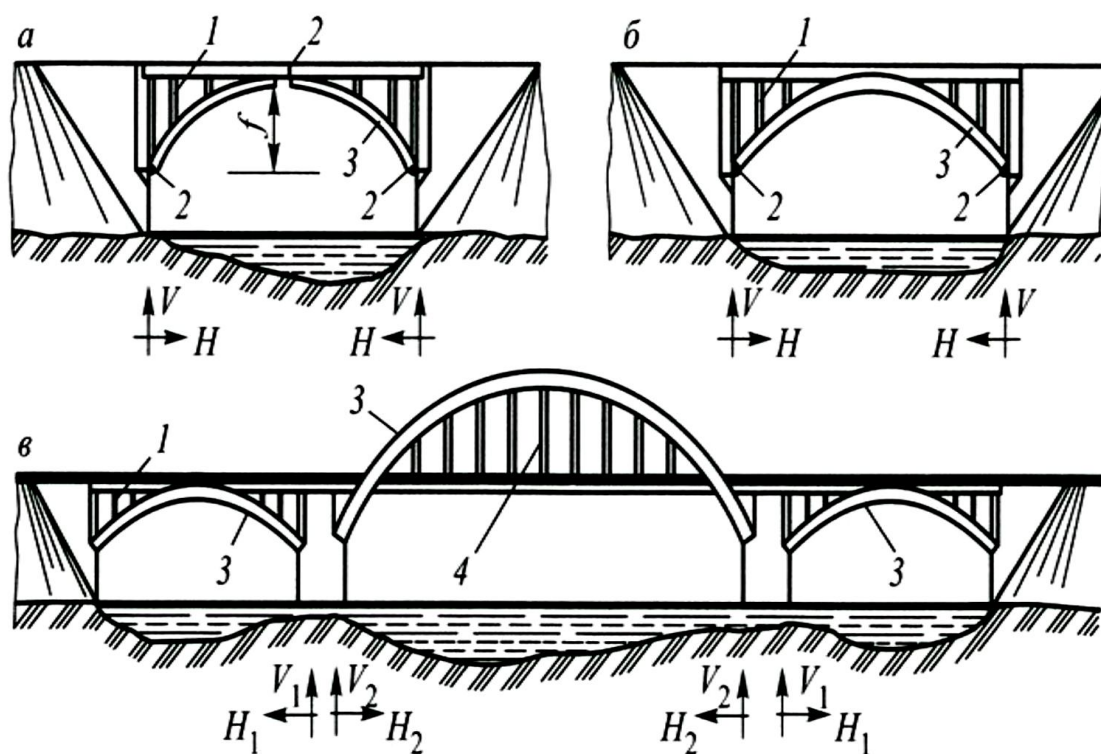


Рисунок 22.5 - Арочные пролетные строения:

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

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

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.

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 пролетных 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 Гипротрансмостом, имеют сборные распорные арки и надарочные строения. Сборные элементы пролетных строений изготавливаются на полигоне с натяжением пучковой арматуры после бетонирования. Элементы арок стыкуются между собой и стойками надарочного строения в узлах опирания стоек. Надарочное строение состоит из поперечных рам, на которых располагаются продольные балки проезжей части неразрезной конструкции с шарнирно-подвижным опиранием. Ноги рам жестко заделываются в арки. Сборка арок производится на инвентарных кружалах.

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

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. 22.6).

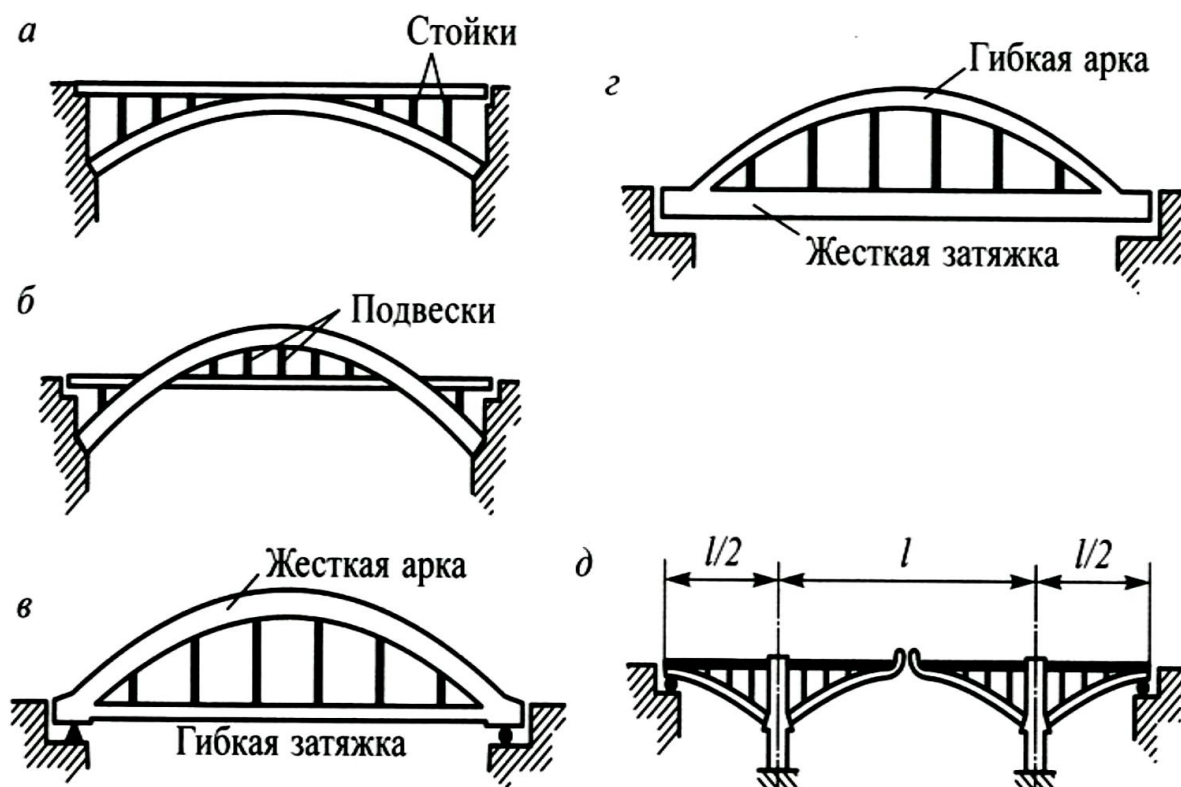


Рисунок 22.6 - Виды железобетонных арочных мостов:
 а — с ездой поверху; б — с ездой посередине; в — с жесткой аркой и гибкой затяжкой; г — с гибкой аркой и жесткой затяжкой; д — с консольными арками

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. 22.7). Ванта 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 крепления 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—20°.

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.

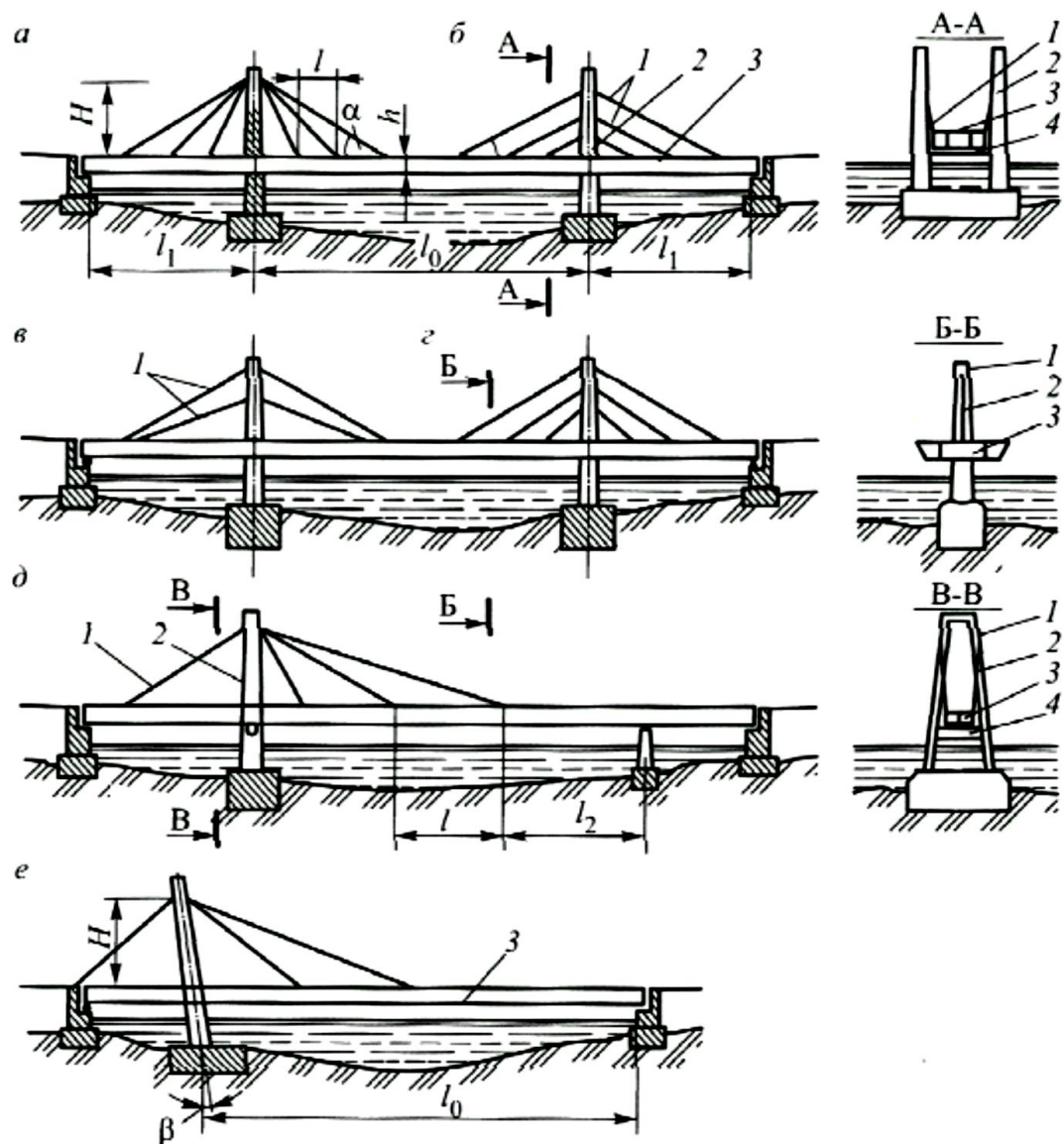


Рисунок 22.7 - Схемы вантовых мостов:

a — ванты выходят из одной точки пилона; *б* — ванты располагаются параллельно, подходя к пилону на разной высоте; *в* — ванты выходят из одной точки на балке жесткости; *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)

§23. Принцип армирования и материал для железобетонных мостов

Плитные пролетные строения простейшей конструкции применяются для перекрытия малых пролетов от 3 до 6 м железнодорожных мостов (рис. 23.1). 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 12мм 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.

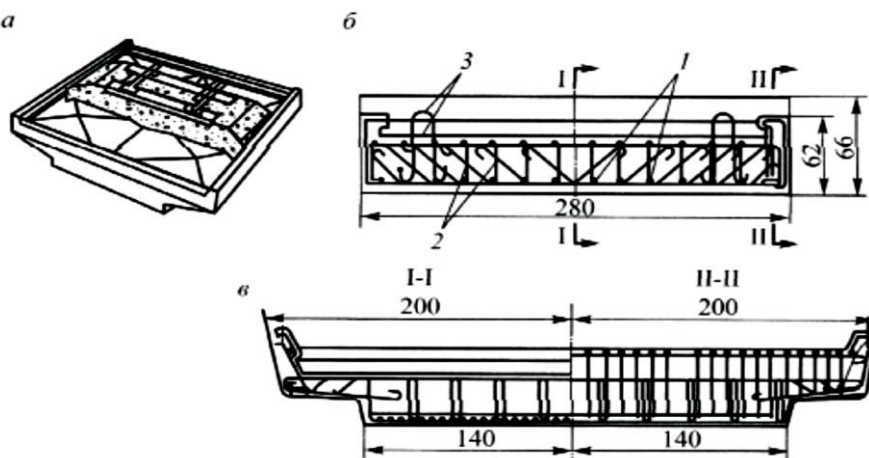


Рисунок 23.1- Плитное пролетное строение:
а — общий вид ; *б* — продольный разрез ; *в* — поперечные разрезы ; *1* — рабочая арматура;
2 — распределительная арматура ; *3* — монтажная арматура.

Мосты с ребристыми пролетными строениями применяются при пролетах в свету более 6 м, когда плитные пролетные строения становятся неэкономичными (рис. 23.2). 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 продольной 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 выполняют с консолями, на которых и устраиваются тротуары. Плита проезжей части и консоли образуют балластное корыто для устройства верхнего строения пути.

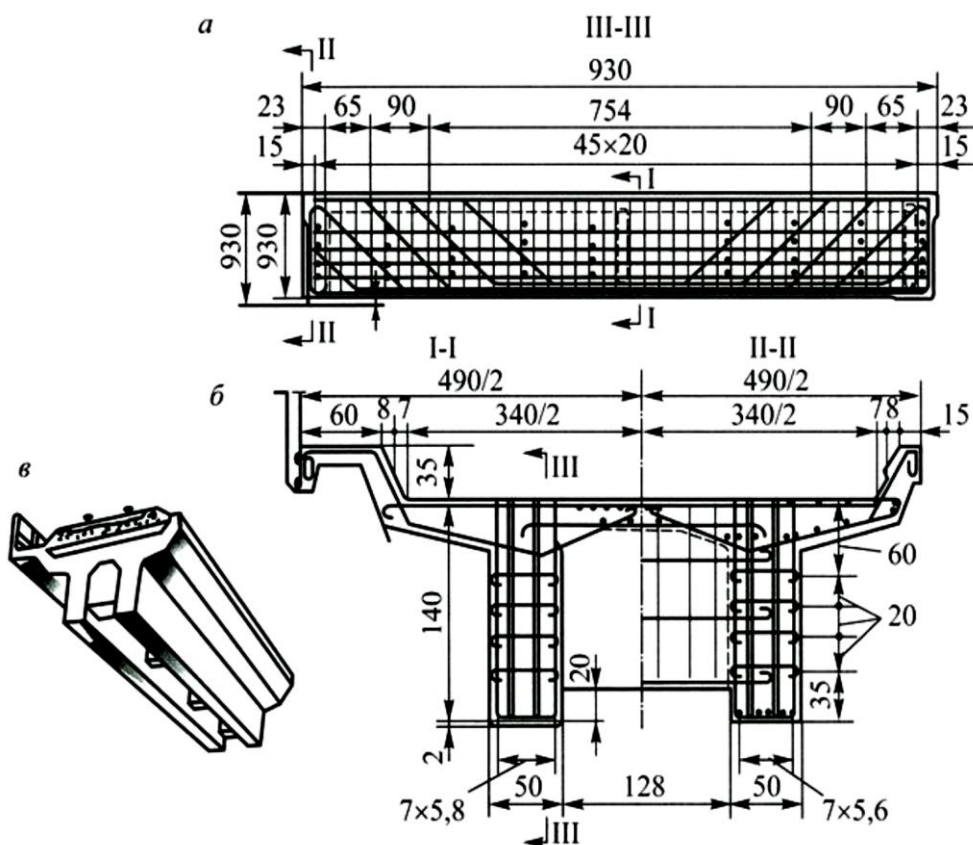


Рисунок 23.2 - Монолитное ребристое пролетное строение:
а — продольный разрез ; *б* — поперечные разрезы ; *в* — общий вид.

§24. Эксплуатация железобетонных мостов, основные неисправности и способ их устранения

Порядок надзора за всеми трещинами в железобетонных мостах аналогичен порядку надзора за трещинами в массивных опорах. При содержании массивных мостов особого внимания требует состояние гидроизоляции и нормальный отвод воды.

В железобетонных мостах могут наблюдаться следующие неисправности: трещины, отколы защитного слоя, раковины и каверны в бетоне, обнажение и ржавление арматуры, выщелачивание раствора, неплотное опирание балок на опоры и другие дефекты. Недостаточно

плотный бетон мостовых конструкций при отсутствии изоляции теряет свою прочность и разрушается под действием воды. Поэтому при появлении признаков выщелачивания (потеки, наблюдаемые на поверхности конструкций) нужно вскрыть балластный слой и произвести замену изоляции. При плохом состоянии кладки, при наличии глубоких трещин или значительного выветривания производится цементация кладки, торкретирование поверхностей.

Торкретирование заключается в нанесении на ремонтируемую поверхность увлажненной смеси цемента с песком под действием сжатого воздуха. Соотношение частей цемента и песка колеблется в пределах от 1:2 до 1:6. Применяется быстротвердеющий цемент высоких марок и песок с крупностью зерен не более 5 мм и влажностью до 3—5 %. Количество воды в торкрете составляет 10—15 % по отношению к цементу. При подготовке поверхности к торкретированию удаляются все отставшие части, трещины расчищаются, делаются насечки. Поверхность полностью очищается металлическими щетками или чистым сухим песком из цемент-пушки. Очищенная поверхность продувается сжатым воздухом и промывается струей воды под давлением. Торкретное покрытие выполняется толщиной 20—40 мм и при необходимости армируется стальной сеткой из проволоки диаметром 2—4 мм, со стороной квадрата 5—10 см. Для крепления сетки на поверхности используются штыри, забитые в кладку на расстоянии 30—80 см один от другого. Торкретирование выполняется при помощи цемент-пушки и компрессора. Подача материалов цемент-пушкой может производиться на высоту 80 м и по горизонтали до 200 м. Торкрет укладывается в два-три слоя. Нанесение следующего слоя производится после схватывания предыдущего. Работы производятся при температуре наружного воздуха не ниже +5°C. Применяют также шприц-бетон, обладающий высокой водостойкостью. Шприц-бетон, или крупнофракционный торкрет, наносится специальной машиной под давлением 8—10 атм. В балочных железобетонных мостах наиболее серьезными являются трещины, пересекающие и сжатую и растянутую зоны. Эти трещины открывают доступ влаги к арматуре, что вызывает ее коррозию. Все трещины и другие дефекты должны быть заделаны цементным раствором; применяются и полимерцементные растворы, состоящие из цемента, песка и водной поливинилацетатной эмульсии. Более пластичные составы получаются применением латексов (полимерцементные краски). Полимерцементные растворы в зависимости от их консистенции наносятся шпателями, мастерками или кистями. Наиболее прочные защитные составы, обладающие хорошей

сцепляемостью с бетоном, готовятся на основе эпоксидной смолы или перхлорвиниловой и фенолоальдегидных смол. Чистые цементные растворы имеют плохое сцепление с бетоном, менее долговечны, требуют ухода при твердении.

§25. Конструкция водопропускных труб

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. 25.1).

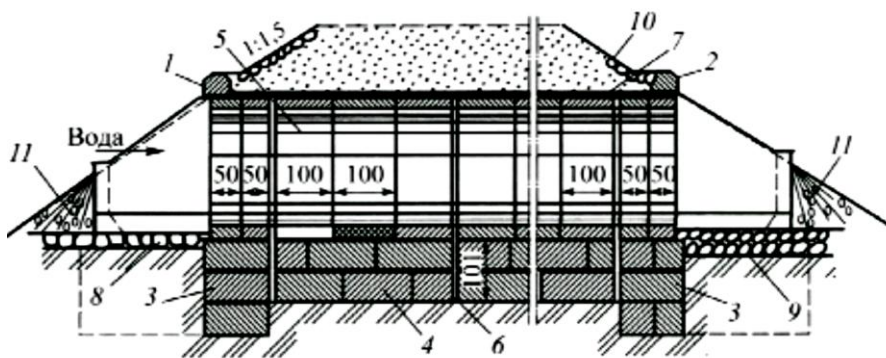


Рисунок 25.1 - Конструкция водопропускной трубы:

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. 25.2). 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.

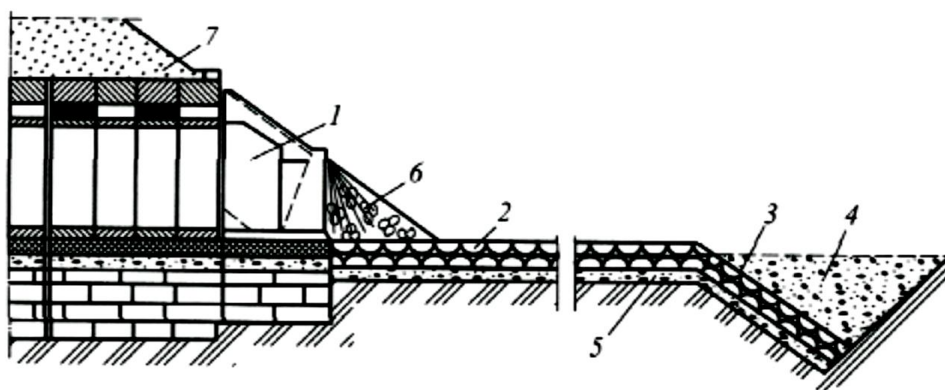


Рисунок 25.2 - Укрепление русла водотока на выходе из трубы:
1 — выходной оголовок; 2 — мощение русла; 3 — предохранительный ковш; 4 — каменное заполнение ковша; 5 — песчано-гравийная подготовка под мощением русла; 6 — крепление откосов ниже оголовка; 7 — крепление откосов выше оголовка

§26. Область применения труб . Конструкция труб из различных материалов

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, комплексно-механизированным, 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, выгодность 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 %.

Водопропускные трубы классифицируют по следующим признакам:

- по характеру протекания водотока в трубе;
- по форме отверстия трубы (рис. 26.1);
- по числу водопускных отверстий;
- по конструктивному оформлению входа водотока в трубу и выхода из нее (рис. 26.2 , 26.3, 26.4);
- 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, трапецеидальные, треугольные, овоидальные, с вертикальными стенками и сводами, 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.

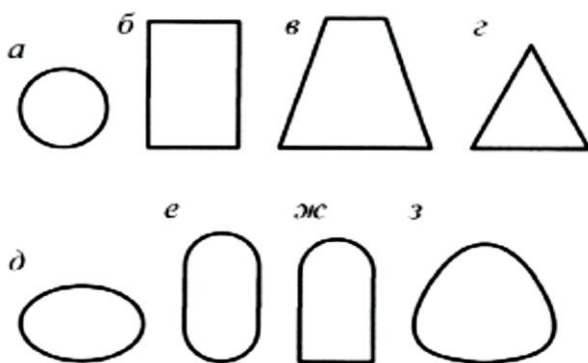


Рисунок 26.1 - Формы водопропускного отверстия труб:
а — круглая; *б* — прямоугольная; *в* — трапецевидная; *г* — треугольная; *д* — эллиптическая; *е* — овоидальная; *ж* — с вертикальными стенками и сводом; *з* — арочная

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

ным звеном имеют большую водопропускную способность, чем трубы с нормальным звеном.

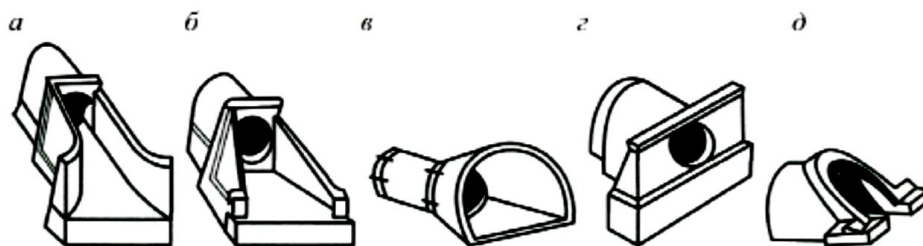


Рисунок 26.2 - Виды оголовков водопропускных труб:
а — коридорный; б — раструбный; в — конический; г — порталый; д — воротниковый

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.

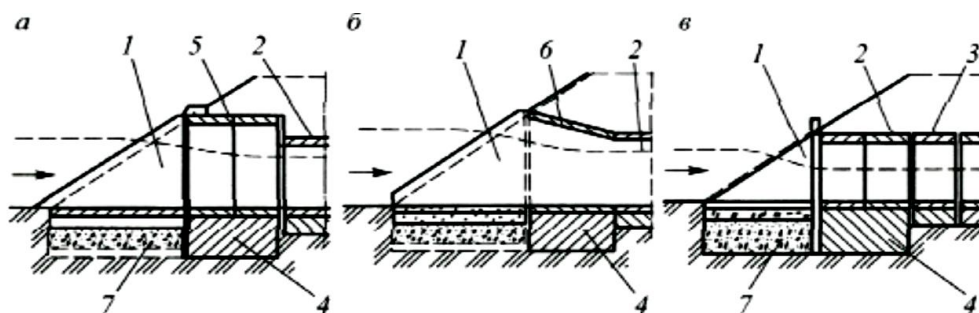


Рисунок 26.3 - Трубы с различной конструкцией входного звена:
а — труба с повышенным входным звеном; б — труба с коническим входным звеном; в — труба с нормальным входным звеном; 1 — откосная стенка; 2 — секция трубы; 3 — нормальное звено; 4 — фундамент; 5 — повышенное звено; 6 — коническое звено

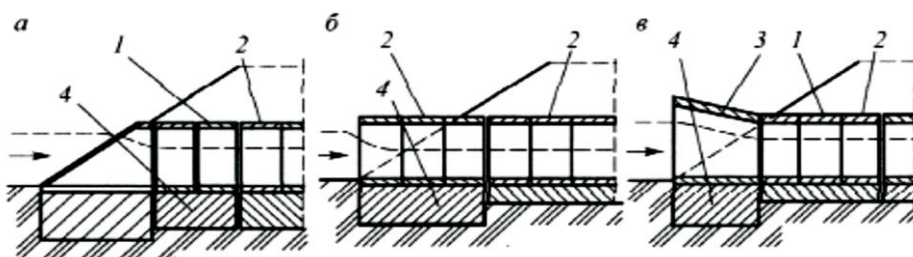


Рисунок 26.4 - Виды труб без оголовков:
а — труба без оголовка с наклонным торцом; б — труба без оголовка с вертикальным торцом; в — труба с повышенным или коническим входным звеном без откосных стенок; 1 — секция трубы; 2 — нормальное звено; 3 — коническое звено; 4 — фундамент.

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.

§27. Трубы на косогорах

Косогорные трубы устраивают на пересечении дороги с малыми бурными водными потоками с продольным уклоном русла более 20 ‰. Эти трубы имеют следующие конструктивные части: быстроток с входным участком, переходное устройство от быстротока 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. 27.1).

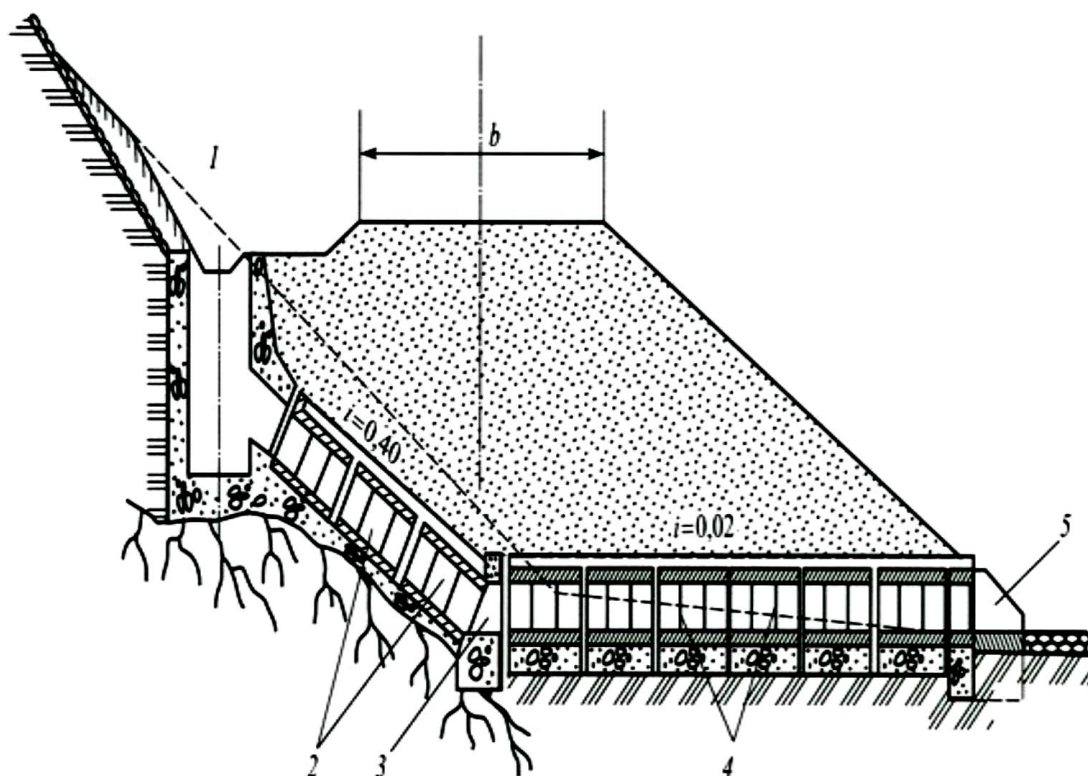


Рисунок 27.1 - Конструкция трубы на косогоре:

1 — водобойный колодец; 2 — наклонная часть трубы; 3 — бетонный упор; 4 — нормальный участок трубы; 5 — выходной оголовок.

§28. Эксплуатация труб

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 цементировка 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 трапецевидального или прямоугольного очертания по типу тоннельных разработок. В штольне производятся необходимые работы по перекладке трубы, затем штольня засыпается с постепенным удалением креплений.

§29. Подпорные стены. Назначение, виды, конструкция

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. 29.1) сооружаются в случаях, когда путь проходит на косогорных и прибрежных участках вдоль обрывистых берегов рек, озер, морей и на подходах к тоннелям.

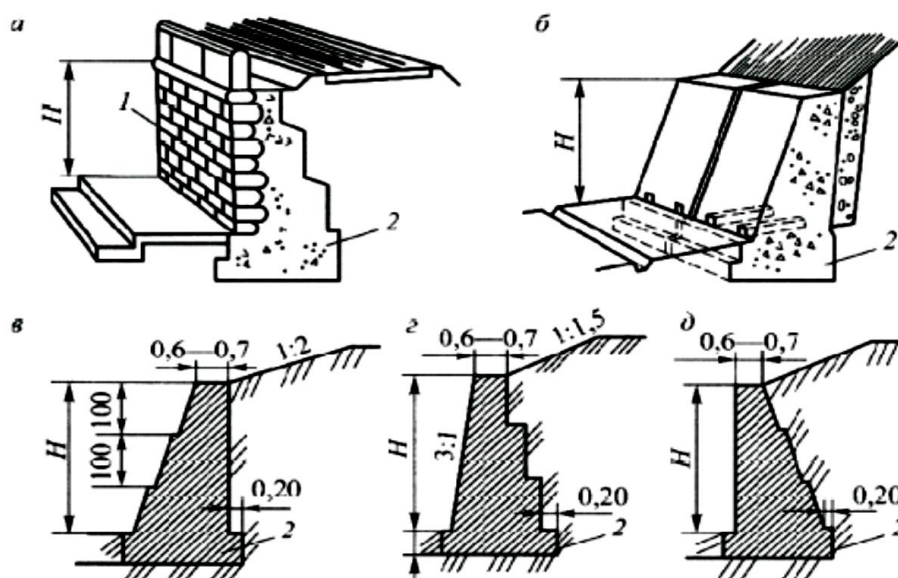


Рисунок 29.1 - Бетонные и каменные подпорные стены:

а, д — подпорные стены с вертикальной передней стенкой; *б, г* — подпорные стены с наклонной передней стенкой; *в* — подпорная стена со ступенчатой передней стенкой; *1* — облицовка; *2* — фундамент; *H* — высота стены до обреза фундамента

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.

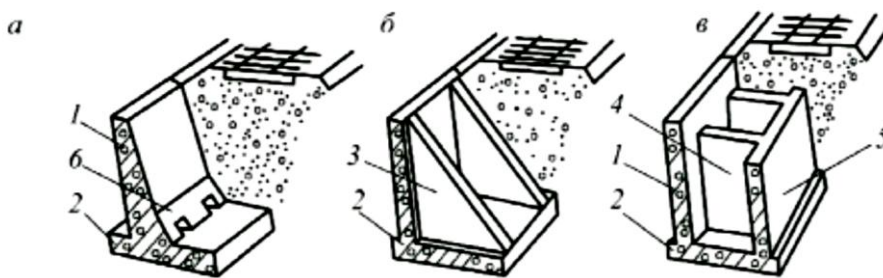


Рисунок 29.2 - Железобетонные подпорные стены:

a — 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; б — 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. 29.2).

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.

§30. Характеристика и конструкция транспортных тоннелей

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, подводные 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 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 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 малотрудоемкому 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 пересечения 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. 30.1, а,б). Тоннели в плане могут быть прямолинейными и криволинейными. 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.

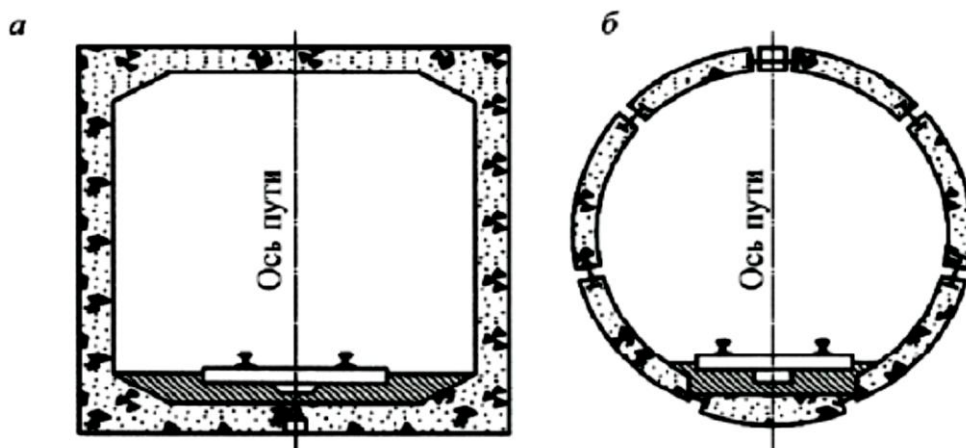


Рисунок 30.1 - Поперечное сечение тоннеля, разработанного:
а — открытым способом ; б — щитовым способом.

§31. Обустройство тоннелей, устройство пути в тоннелях и особенности их эксплуатации

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, различно проектируется конструкция и толщина обделок.

Обделки тоннелей бывают монолитные и сборные.

Размеры и формы внутренних очертаний обделок транспортных тоннелей определяются главным образом габаритом приближения строений. Для железных дорог нормальной колеи установлен габарит «С».

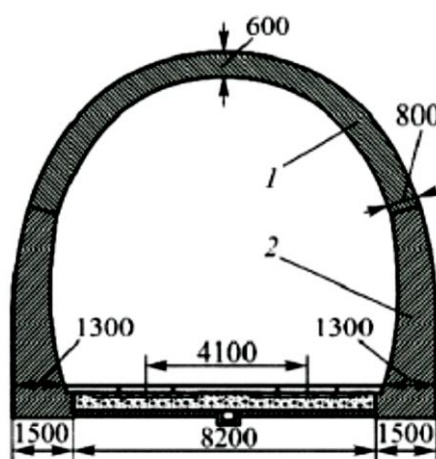


Рисунок 31.1 - Монолитная обделка двухпутного тоннеля:
1 — свод; 2 — стены

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. 31.1). Бетонная обделка по сравнению с каменной обладает большей плотностью и водонепроницаемостью; процессы, связанные с бетонированием, могут быть полностью механизированы. Необходимость немедленного восприятия обделкой горного давления в некоторых случаях требует применения быстротвердеющих цемента. 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 —

тубингов. Каждый тубинг представляет собой четырехугольную плиту, изогнутую в соответствии с кривизной обделки, с фланцами по периметру плиты; в фланцах имеются отверстия для болтов. Сболчивание тубингов осуществляется специальными гайковертами. Из тубингов образуется цилиндрическая конструкция обделки. В тубингах имеются отверстия для нагнетания за обделку цементного раствора, закрываемые пробками с резьбой (рис. 31.2). Ширина тубингов колеблется от 0,4 до 1 м, длина тубинга превышает 2 м.

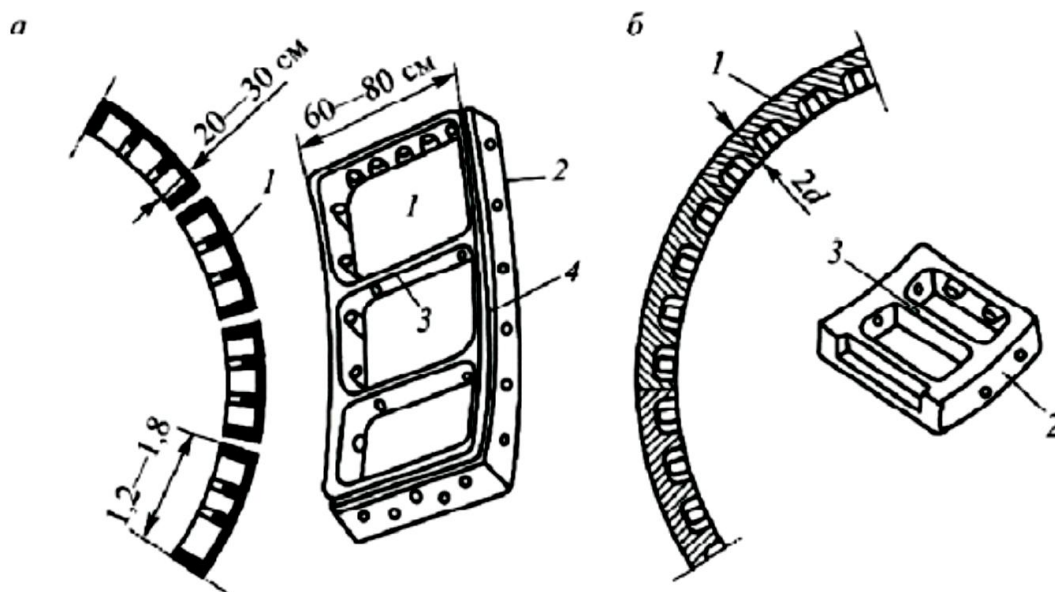


Рисунок 31.2 - Сборная обделка из тубингов:

a — металлических ; *б* — железобетонных ; 1 — стенка ; 2 — борт ; 3 — ребро ; 4 — желобок ; 2*d* — толщина тубинга

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. 31.3). 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.

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.

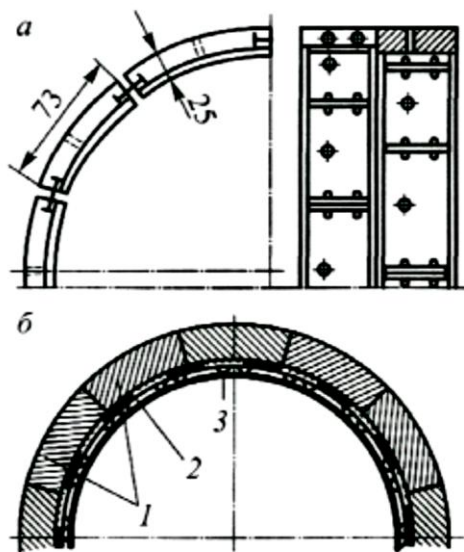


Рисунок 31.3 - Сборная обделка из блоков:
a — железобетонных; *б* — бетонных; 1 — блок; 2 — изоляция; 3 — железобетон

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.



Рисунок 31.4 - 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. (рис. 31.5, а, б).

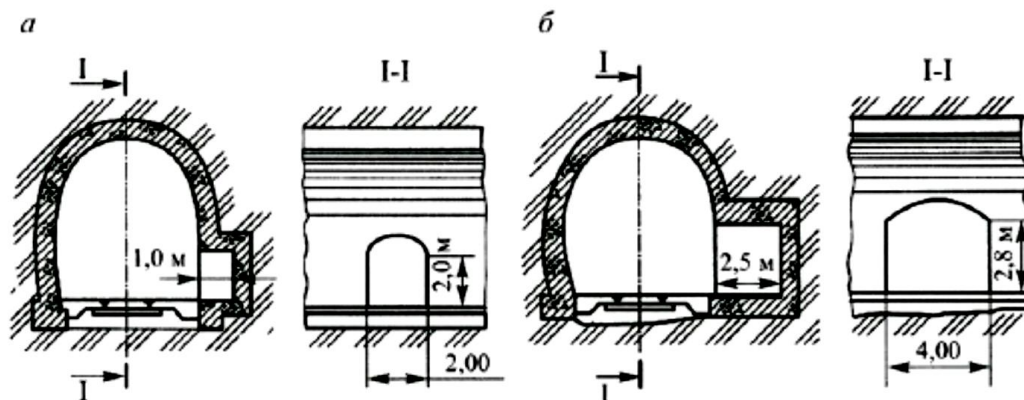


Рисунок 31.5 - Укрытия в тоннелях:
а — ниши; б — камеры

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 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 CO₂. Если содержание CO₂ 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 световой 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.

Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите виды искусственных сооружений и их назначение
- 2 Какие нагрузки действуют на искусственные сооружения
- 3 Какие нагрузки относятся к постоянным нагрузкам?
- 4 Какие нагрузки относятся к временным нагрузкам?
- 5 Какие виды водотоков вы знаете , приведите примеры.
- 6 Перечислите эксплуатационные устройства искусственных сооружений.
- 7 Расскажите об области применения металлических мостов.
- 8 Перечислите преимущества металлических мостов.
- 9 Расскажите о недостатках металлических мостов.
- 10 Назовите основные части металлических мостов.
- 11 Расскажите о статических схемах металлических мостов.
- 12 Перечислите виды мостового полотна на металлических железнодорожных мостах.
- 13 Из каких материалов выполняют опорные части?
- 14 Перечислите основные неисправности металлических мостов и способы их устранения.
- 15 Перечислите способы защиты поверхности опор.
- 16 В чем особенность конструкции каменных и бетонных мостов ?
- 17 Перечислите и охарактеризуйте системы и виды железобетонных мостов.
- 18 Расскажите о принципах армирования железобетонных мостов.
- 19 Расскажите об особенностях эксплуатации железобетонных мостов.
- 20 Расскажите об основных неисправностях железобетонных мостов и способах их устранения.
- 21 Из каких элементов состоят водопропускные трубы?
- 22 Перечислите признаки, по которым классифицируются трубы.

- 23 Расскажите об особенностях эксплуатации труб.
- 24 Расскажите о назначении и видах подпорных стен.
- 25 Назовите виды транспортных тоннелей
- 26 Для чего в тоннелях устраивают ниши и камеры ?
- 27 Назовите виды обделок тоннелей и расскажите об особенностях каждого.

Тема 2.2 Система надзора , ухода и ремонта искусственных сооружений

§32. Особенности эксплуатации искусственных сооружений

Содержание искусственных сооружений должно обеспечивать их исправное состояние для бесперебойного и безопасного пропуска поездов с установленными скоростями движения. Пешеходные мосты (тоннели) и автодорожные путепроводы, находящиеся на балансе железных дорог, должны содержаться в исправном состоянии и обеспечивать безопасный пропуск пешеходов и автотранспорта. Кроме того, содержание всех сооружений должно обеспечивать максимально длительный срок их службы.

Содержание искусственных сооружений предусматривает текущее содержание (надзор и работы по текущему содержанию) и капитальный ремонт всех сооружений. Основным принципом содержания является предупреждение появления неисправностей и повреждений в сооружениях.

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. 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 отдельных 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. 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 устройств.

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 устройств, 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.

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.

§33. Виды и сроки осмотра искусственных сооружений

За всеми без исключения искусственными сооружениями на протяжении всего периода их эксплуатации должен производиться систематический надзор, включающий:

- осмотры, осуществляемые обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений;
- текущие осмотры,
- периодические осмотры;
- обследования и испытания;
- специальные наблюдения (включая непрерывный мониторинг) и другие осмотры.

Осмотр искусственных сооружений производится обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений, а при их отсутствии – бригадами пути или квалифицированными монтерами пути.

Целями текущих осмотров являются:

- наблюдение за общим состоянием искусственных сооружений,
- выявление всех неисправностей с выделением требующих незамедлительного устранения,
- определение объема необходимых ремонтных работ,
- контроль выполнения надзора и содержания обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений, а также инструктирование этих работников.

Текущему осмотру подвергаются все части искусственных сооружений: рельсовый путь, мостовое полотно, пролетные строения, опорные части, опоры; порталы и обделка тоннелей; оголовки и звенья

труб; конусы насыпи, русла, включая укрепления, лотки, регулиционные и берегоукрепительные сооружения. К текущему осмотру относятся также наблюдения за режимом водотоков и за образованием наледей.

Текущие осмотры искусственных сооружений осуществляют бригады пути, дорожные и старшие дорожные мастера, начальники участков, бригады по искусственным сооружениям, мостовые (тоннельные) мастера, начальники и заместители начальников дистанций пути или мостовых дистанций на закрепленных за ними участках, устанавливаемых начальником дистанции пути или мостовой дистанции.

Мостовой (тоннельный) мастер или под его руководством бригады по искусственным сооружениям должен производить текущий осмотр искусственных сооружений в пределах дистанции пути или закрепленного ему участка в сроки, устанавливаемые начальником дистанции пути или мостовой дистанции для каждого сооружения в зависимости от его состояния, с учетом следующих требований:

- при исправном состоянии железнодорожные тоннели, металлические, железобетонные и каменные мосты и трубы нужно осматривать один раз в три месяца, а деревянные мосты и трубы, а также пешеходные мосты (тоннели) – один раз в месяц;
- для слабых и дефектных искусственных сооружений впредь до устранения неисправностей, угрожающих безопасности движения поездов, а также для сооружений, находящихся в ремонте, устанавливаются более частые сроки осмотров вплоть до непрерывного наблюдения;
- пролетные строения, рассчитанные по нормам 1925 года и более ранним, а также с низким классом по грузоподъемности, нужно осматривать не реже одного раза в два месяца;
- пролетные строения, усиленные сваркой, а также пролетные строения мостов, находящихся в северных условиях и не отвечающих современным требованиям к конструкциям северного исполнения, необходимо осматривать в зимнее время не реже одного раза в месяц; при этом отдельные элементы старых пролетных строений по нормам проектирования 1925 года и ранее, подверженные наибольшему динамическим воздействиям (продольные и поперечные балки проезжей части, узлы прикрепления подвесок и другие) при температуре наружного воздуха ниже минус 30 °С необходимо осматривать в более частые сроки, устанавливаемые начальником дистанции пути (мостовой дистанции) в зависимости от состояния пролетных строений, опыта их эксплуатации и рекомендаций дорожной мостоиспытательной станции.

Бригадирь пути, дорожные и старшие дорожные мастера, начальники участков, начальники и заместители начальников дистанций пути проводят текущие осмотры искусственных сооружений в порядке, установленном руководящими документами. Заместители начальника мостовой дистанции и начальники участков мостовой дистанции или заместитель начальника дистанции пути по инженерным сооружениям должны осматривать все большие и средние мосты, тоннели и все дефектные сооружения, а также ремонтируемые сооружения не реже чем в сроки, установленные начальником дистанции для осмотра этих сооружений мостовым мастером.

В период ливней и пропуска весеннего паводка дорожные, мостовые и старшие дорожные мастера, начальники участков, бригадирь пути и бригадирь по искусственным сооружениям должны осматривать и проверять сооружения по мере необходимости для обеспечения бесперебойного и безопасного движения поездов.

На участках, где наблюдаются сильные ливни, перед наступлением ливневого периода и после его окончания, а также после землетрясений силой 4 балла и более, проводятся дополнительные сплошные осмотры искусственных сооружений начальником дистанции пути (его заместителем или главным инженером дистанции пути) или начальником мостовой дистанции с участием мостового мастера, начальника участка, старшего дорожного и дорожного мастеров.

Результаты текущего осмотра искусственных сооружений с описанием обнаруженных неисправностей и указанием объема необходимых ремонтных работ заносятся мостовыми мастерами и бригадирями по искусственным сооружениям в Книгу записи результатов осмотра искусственных сооружений (ПУ-30), которую ежемесячно проверяет и подписывает начальник дистанции пути (его заместитель) или начальник мостовой дистанции (его заместитель).

Заместитель начальника дистанции пути по инженерным сооружениям также ведет Книгу записи результатов осмотра искусственных сооружений.

Наиболее существенные повреждения, выявленные при текущих осмотрах, а также результаты осмотров после землетрясений и сильных ливней, заносятся в Книги искусственных сооружений.

Периодические осмотры всех искусственных сооружений должны производиться начальником дистанции пути (его заместителями или главным инженером дистанции пути) или начальниками участков мостовой дистанции с участием мостового (тоннельного) мастера,

начальника участка, старшего дорожного и дорожного мастеров в сроки, установленные начальником службы пути в зависимости от состояния сооружений, но не реже двух раз в год – весной (после прохода высоких вод) и осенью.

Результаты периодических осмотров оформляются актами, заносятся в Книгу записи результатов осмотра искусственных сооружений (ПУ-30), а также в Книги искусственных сооружений с перечислением выявленных дефектов и указанием объема и сроков требуемых ремонтных работ. Указанные акты и Книги подписываются руководителем дистанции пути или мостовой дистанции, производившим осмотр, и мостовым мастером. При выявлении опасных повреждений, кроме записи в Книгах искусственных сооружений составляется отчет или заключение, представляемое в службу пути.

Результаты проведенных осмотров искусственных сооружений, данные о планируемых и выполненных работах по текущему содержанию и ремонту искусственных сооружений, должны быть внесены в базу данных АСУ ИССО.

§34. Основные неисправности искусственных сооружений и перечень работ по их устранению

Усиление металлических пролетных строений.

В старых пролетных строениях слабыми бывают не все, а лишь некоторые элементы и их крепления. Почти всегда слабы балки проезжей части, а в фермах — отдельные элементы решетки или поясов, но нередко те и другие.

Недостаточная грузоподъемность элементов объясняется пониженной прочностью (малой площадью сечения элементов), малой выносливостью особенно при знакопеременных усилиях, излишней гибкостью (что чаще бывает у сжатых элементов ферм, а также у связей). В слабых креплениях слишком тонки соединяемые листы и, следовательно, возникает большое смятие их заклепками, или недостаточно число, сечение заклепок.

В таких случаях грузоподъемность можно повысить восполнением площади сечения, присоединив к старому элементу новый металл (дополнительные листы, уголки), а также увеличением числа или диаметра заклепок в прикреплениях. Добавление металла к старым элементам — основной и распространенный способ усиления (рис. 34.1, *а*). Здесь прочность и жесткость элементов увеличиваются без изменения системы пролетного строения.

Но использовать слабое пролетное строение можно и снижением усилий в элементах, изменив систему пролетного строения. Таких способов несколько. Если, например, под пролетное строение подвести одну или несколько промежуточных опор, то оно превратится в неразрезное с меньшими пролетами (рис. 34.1, *б*), а с уменьшением пролета резко снижаются усилия в фермах.

Подобно этому объединяют смежные разрезные пролетные строения в одно неразрезное, соединяя их поясами над промежуточными опорами (рис. 34.1, *в*). При этом тоже, хотя и меньше, снижаются усилия в поясах, особенно в средних частях пролетов.

Усилия в фермах можно уменьшить также устройством третьего пояса, который закрепляют к концам каждой фермы и располагают в плоскости фермы, чтобы он не мешал езде, т. е. при езде поверху третий пояс ставят снизу (рис. 34.1, *г*). В данном случае он подпирает пролетное строение стойками, испытывая сам растяжение, поэтому его называют еще цепью, а иногда шпренгелем. При езде понизу с ограниченным подмостовым габаритом третий пояс располагают сверху (рис. 34.1, *д*). В данном случае ферма подвешена к третьему поясу, который, являясь гибкой аркой, испытывает сжатие.

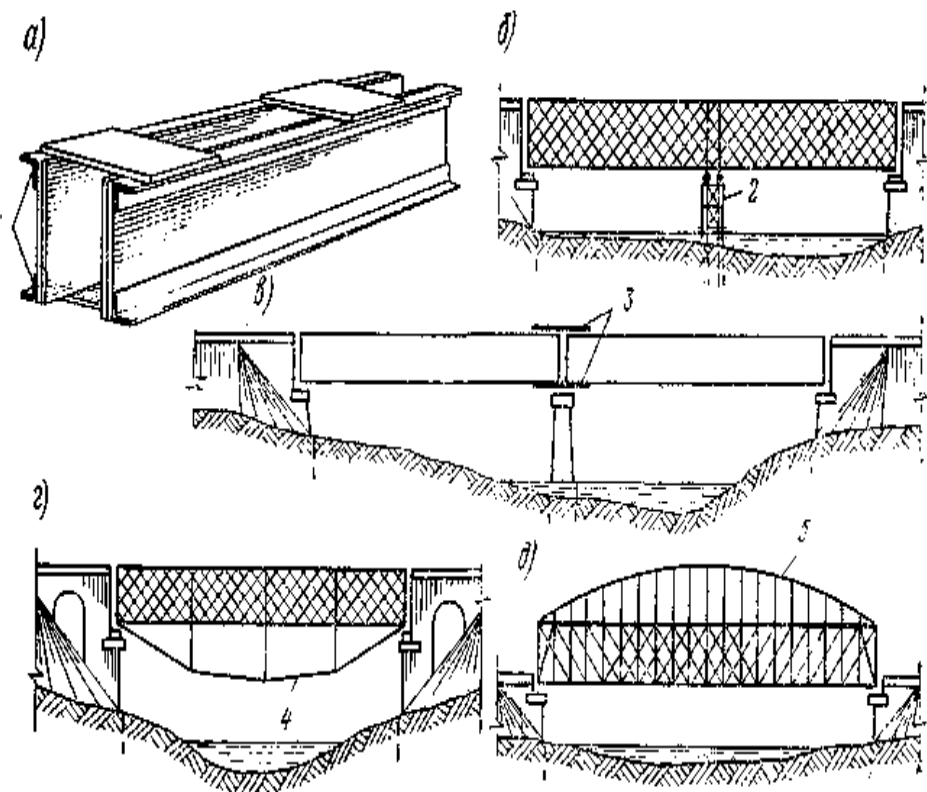


Рисунок 34.1 – Усиление металлических ферм:

1 – металл усиления; 2 – дополнительная опора ; 3 – соединительные элементы; 4 – шпренгель при езде поверху ; 5 - шпренгель при езде понизу.

Превращение разрезных ферм, в неразрезные, установка третьего пояса, изменяя так или иначе систему пролетного строения, преследуют одну цель — частично разгрузить фермы и тем снизить усилия в их элементах от нагрузки, а значит, и сократить работы по усилению самих элементов.

Достоинство разгрузки ферм — в выполнении основного объема работ независимо от движения поездов. Таково, например, возведение дополнительных опор, устройство третьего пояса, конструкция которого может быть изготовлена даже на заводе.

Другое достоинство этих способов в том, что они позволяют снизить усилия в фермах не только от поездов, но и от собственного веса пролетного строения. Для этого, например, неразрезное пролетное строение подклинивают на промежуточной опоре, третий пояс при помощи домкратов предварительно натягивают, когда он растянут, или обжимают (когда он сжат) и в таком состоянии закрепляют на пролетном строении. Подпертое (или подтянутое) таким образом пролетное строение,

естественно, передает часть собственного веса на конструкцию усиления. При усилении добавлением металла к сечению элемента такая разгрузка отсутствует.

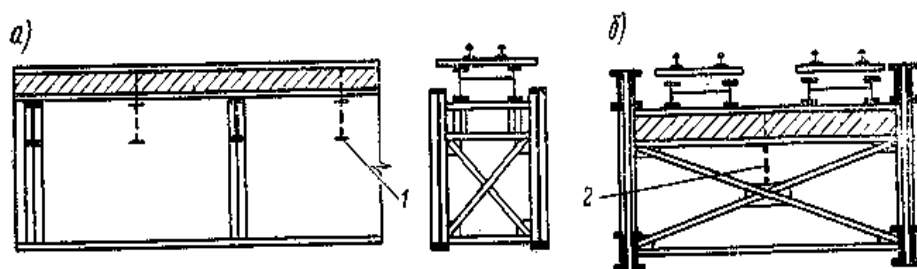


Рисунок 34.2 - Усиление балок проезжей части постановкой:
1 — дополнительных балок; 2 — стоек

Несмотря на достоинства, способы усиления с разгрузкой пролетных строений все же непопулярны: они достаточно трудоемки и громоздки. Например, устройство новых опор довольно сложно и не всегда возможно из-за стеснения русла реки.

Общий недостаток способов усиления с изменением системы состоит в том, что, разгружая сами фермы, они не избавляют от необходимости усиления балок проезжей части — обычно наиболее слабых элементов. Понятно, подобные способы применимы и для проезжей части. Так, можно установить новые балки дополнительно к существующим (рис. 34.2, а), подвести под поперечные балки шпренгели или стойки с опиранием на узлы поперечных связей между фермами (рис. 34.2, б). Но это уже дополнительное и не самое целесообразное усиление.

Однако и в фермах способы усиления с разгрузкой, вызывая перераспределение усилий в элементах, требуют приспособления некоторых элементов к новым условиям эксплуатации. Например, в неразрезной ферме над промежуточной опорой нижний ранее растянутый пояс прежней разрезной фермы становится сжатым и требует известного усиления. Над этой же опорой требуется, как правило, усилить опорные стойки и раскосы.

Этих недостатков лишено поэлементное усиление, т. е. непосредственным увеличением сечений элементов.

Выбор способа, как и целесообразность самого усиления, зависит от многих условий. Решающее значение имеет трудоемкость и сложность работ, общее состояние моста, возможная степень повышения его

грузоподъемности, перспективы дальнейшей эксплуатации— изменение нагрузок, подмостовых габаритов и т. д.

Наконец, всякое усиление неоправданно, если его стоимость существенно меньше стоимости установки нового пролетного строения, а производство работ недопустимо осложняет эксплуатацию.

Практически мосты усиливают, когда затраты нового металла с учетом выполнения необходимого ремонта и устранения негабаритности (подъемка верхних поперечных связей для электрификации) не превышают 15—20% веса пролетного строения. Конструкцию усиления принимают выполнимую под движением поездов и в крайнем случае в непродолжительные «окна».

Поэлементное усиление пролетных строений

Поэлементное усиление применяют для разных типов пролетных строений любых пролетов.

Металл усиления прикрепляют к прежней конструкции обычно заклепками. В довоенные годы использовалась и сварка. Теперь вместо заклепок все шире применяют высокопрочные болты. Не уступая в надежности, они удобнее заклепок, особенно в стесненных условиях.

Сварка упрощает и ускоряет работы, так как отпадает кропотливая разметка по заклепочным отверстиям в старой конструкции и сверление новых отверстий. Однако надежная сварка получается, как правило, в применении к специальным сталям, отличным по составу и свойствам от металла старых мостов. Появление в ряде случаев трещин в швах и металле элементов с применением сварных соединений привело в дальнейшем к отказу от использования сварки при усилении.

Между тем большая жесткость сварных соединений особо уместна при усилении. Из-за податливости заклепок эффективность использования нового металла снижается на 5—10%. В этом отношении сварка, а затем и высокопрочные болты благоприятнее заклепок.

В большей мере, однако, новый металл недоиспользуется, если он поставлен на мощный элемент, не разгруженный от собственного веса старой конструкции. В этом случае напряжение от поездов будет примерно одинаковым в новом и старом металле, поскольку они объединены и одинаково деформируются под нагрузкой. Но старый металл сверх этого еще нагружен постоянной нагрузкой и поэтому, когда полное напряжение в нем достигает наибольшего допустимого напряжения, новый металл будет значительно недонапряжен. Такое недоиспользование прочности

нового металла тем больше, чем большую часть составляет постоянная нагрузка для данного элемента, т. е. оно возрастает с увеличением пролетов. Чтобы лучше использовать новый металл путем передачи на него веса старой конструкции, в отдельных случаях применяют специальные натяжные устройства, временные разгрузочные опоры и подмости. В балках проезжей части с их малыми пролетами и в других подобных элементах (например, подвесках), на которые действует малый собственный вес, его влияние несущественно.

Балки проезжей части чаще всего усиливают, наклепывая листы на их пояса для увеличения прочности по изгибу .

В продольных балках с поясами только из уголков, как это часто делалось ранее, поставить листы просто.

Ослабляют лапчатые болты. Мост ограждают сигналами остановки. В перерыв между поездами поднимают на 5—6 см мостовое полотно путевыми домкратами, под мостовые брусья на уголки пояса заводят лист с заранее просверленными в нем отверстиями. Затем приводят путь в нормальное состояние: опускают полотно, притягивают лапчатыми болтами брусья. В дальнейшем по уложенному листу с отверстиями, как по шаблону, сверлят поясные уголки, передвигая для этого брусья. Выклепка заклепок не представляет сложности. Еще проще поставить нижний лист, когда он нужен.

Иногда в продольных балках, не имеющих верхнего горизонтального листа, возникает необходимость замены и верхних поясных уголков из-за трещин и выколов в их полках под мостовыми брусьями. Для этого предварительно заменяют заклепки в поясных уголках болтами и стальными пробками (последовательно по одной заклепке), а затем после подъема мостового полотна в «окно» снимают старые уголки и ставят на болты и пробки новые одновременно с горизонтальным листом, приклепанным, однако, к одному из уголков для возможности плотного прилегания обоих , уголков к стенкам балки. Замену болтов и пробок заклепками, как и склепывание второго уголка с горизонтальным листом, выполняют (последовательно по одной заклепке) уже без прекращения эксплуатации — в перерывы между поездами. Усиление поперечной, а иногда и продольной балки при наличии листов на поясных уголках сложнее. Здесь предварительно надо удалить заклепки, мешающие установке нового листа. Если при такой расклепке прочность балки (обычно поперечной) оказывается недостаточной для пропуска поезда, новый лист ставят, получая двухчасовое «окно».

Чтобы не ослаблять одновременно всего горизонтального пакета пояса и обойтись без «окна», раньше эту работу иногда выполняли в два приема с разрезкой нового листа вдоль на две полосы и поочередной их установкой в перерыве между поездами. Обе полосы после их закрепления на поясе сваривали тонким (ниточным) швом.

Слабым местом проезжей части нередко оказывается прикрепление продольных балок к поперечным при отсутствии рыбок. Чаще всего здесь обнаруживается расстройство заклепок в полках уголков прикрепления.

Слабые заклепки в сопряжении балок, как и в других прикреплениях, обычно заменяют новыми заклепками или высокопрочными болтами при необходимости большего диаметра.

Приходится заменять более мощными и самые уголки прикрепления, которые при тонких полках разгибаются (размалковываются) с появлением трещин вдоль обушка.

Для замены уголков переклепываемые концы продольных балок подвешивают к поперечной балке. При выполнении этой работы без перерыва движения поездов применяют разгрузочные пакеты, опертые на поперечные балки двух смежных панелей и поддерживающие хомутами продольные балки.

Главные балки усиливают, как и балки проезжей части, наклепкой горизонтальных листов. Эту работу практичнее выполнять не на мосту, а в стороне, временно заменив пролетное строение пакетом или ранее усиленным однотипным пролетным строением.

Элементы ферм усиливают разнообразно.

Общим для конструкций усиления является такое размещение нового металла, при котором в наименьшей мере требуется расклепывать элемент. Объясняется это тем, что усиление выполняют, как, правило, без разгрузочных подмостей и временных опор. Поэтому элемент постоянно должен оставаться способным нести приходящееся на него в пролетном строении усилие от нагрузки. Значительное ослабление элемента если даже и не вызывает разрушения конструкции, означает частичное или полное выключение его из работы. В результате этого перераспределяются усилия в конструкции с неизбежной перегрузкой других элементов, что равносильно снижению их грузоподъемности.

Также и в самом элементе расклепка одной его ветви перегружает другую. В сжатых поясах, раскосах и стойках значительная расклепка особо опасна из-за продольного изгиба. Поэтому при усилении, как правило, не применяют листы на всю ширину и высоту сечения элемента, а ставят узкие полосы или уголки. Добавляемый металл размещают

преимущественно вне заклепок, соединяющих вертикальные листы с горизонтальными и ветви друг с другом (в сжатых элементах). Этим избегают расклепки ветвей, а тем более всего элемента и ограничиваются лишь расклепкой менее ответственных связующих заклепок, т. е. соединяющих листы в пакет.

Самое лучшее и простое —разместить металл вне заклепок, к чему при возможности и прибегают.

Стремясь меньше нарушать цельность элемента, соблюдают известную очередность удаления заклепок: сначала срезают только головки мешающие постановке металла усиления, а затем после установки новой полосы или уголка выбивают (через заранее высверленные в них отверстия) стержни срубленных заклепок, тут же заменяя пробкой.

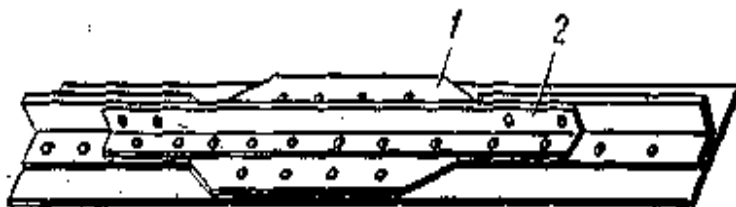


Рисунок 34.3 - Стык в металле усиления при встрече с накладкой:
1—накладка старого металла ; 2 — уголовая накладка металла усиления.

Для стягивания нового металла с элементом забивку пробок чередуют с установкой сборочных болтов.

Новый металл (полосы или уголки) соединяют со старым по всей длине для обеспечения совместной работы и плотного сопряжения. Но когда усиливают элемент по прочности, этого еще недостаточно. Металл усиления заводят в узел фермы и соединяют заклепками или высокопрочными болтами с узловой фасонкой. В сжатых элементах, если усиление делают лишь из-за большой их гибкости, новый металл заводить в узлы не требуется, поскольку и без этого жесткость элемента не уменьшится.

Соединение нового металла со старым в узлах, а также по длине элемента осложняется при встрече с фасонками и накладками, выступающими за плоскость сопряжения. В этих местах добавляемый лист, уголок приходится прерывать, а разрыв перекрывать накладкой (рис. 34.3).

Для повышения жесткости элементов старых двустенчатых ферм, помимо увеличения сечения, усиливают связь между ветвями. Слабые полосовые диагонали соединительной решетки дополняют или полностью заменяют уголковыми диагоналями.

Когда решетка отсутствует, ставят заново соединительные планки (в растянутых элементах для обеспечения более равномерной работы обеих ветвей) или треугольную решетку из уголков с планками (в сжатых элементах, усиливаемых против продольного изгиба).

Увеличить сопротивление продольному изгибу в ряде случаев удастся несложным закреплением середины сжатого элемента распорками к ближайшему жесткому узлу конструкции. Получаемое при этом уменьшение свободной длины элемента, как известно, резко повышает его жесткость. Подобным образом нередко усиливают гибкие продольные связи между фермами, подвешивая их к балкам проезжей части. Чаше, однако, к слабым связям приклепывают дополнительные уголки или уголки малого сечения заменяют более мощными.

Повышая жесткость связей, устраняют наблюдаемое в старых мостах провисание и вибрацию слабых связей под поездами; вибрация не только расстраивает заклепки в прикреплениях к фермам, но иногда приводит к разрыву элемента связи. С усилением связей повышается и общая боковая жесткость всего пролетного строения. Для повышения боковой жесткости слишком узких однопутных пролетных строений на двухпутных мостах нередко устанавливают распорки (с шарнирным креплением) между соседними пролетными строениями.

Аналогично продольные балки пониженной боковой жесткости усиливают установкой продольных связей, предпочтительно в уровне верхних поясов. При наличии только нижних продольных связей верхние пояса балок укрепляют от выпучивания установкой поперечных связей.

Оздоровление массивных сооружений

Срок службы массивных опор и мостов, труб, тоннелей, как правило, превышает 100 лет. Опоры благодаря большой массе еще менее чувствительны к росту нагрузок, чем даже массивные пролетные строения. К тому же размеры опор обычно определяются конструктивными соображениями, в частности размещением на них пролетных строений, и заведомо удовлетворяют условиям прочности. Для массивных сооружений возможность их использования ограничивается в основном

недостаточными их размерами по ширине и пока что в меньшей мере физическим их состоянием.

Происходящее со временем выветривание кладки разрушает лишь наружную относительно неглубокую часть ее. Выщелачивание раствора при плохом водоотводе, а также глубокие длинные трещины напротив нарушают монолитность всего массива кладки. Оздоровление таких сооружений эффективно торкретированием, цементацией кладки, а при слабой облицовке — и устройством железобетонной рубашки. Использование набрызг бетона для рубашки повышает плотность и прочность ее и не требует опалубки. Рубашка по сторонам всего моста позволяет одновременно расширить сооружение, например, для увеличения недостаточного междупутья на двухпутном мосту. Этот способ применен, в частности, на одном из подмосковных кирпичных мостов со сводами по 19 м (рис. 34.4, *а и б*) после 98 лет эксплуатации. Строительство новых сводов даже с использованием старых опор моста потребовало бы в 3 раза больше средств.

На многих старых мостах устои имеют недостаточную длину и конусы насыпи в их верхней части подходят близко к задней грани устоя в связи с этим происходит осадка пути, оползание грунта конусов. Для использования без переделки таких коротких устоев за ними устанавливают железобетонные короба без днищ на всю ширину верха насыпи (рис. 34.4, *в*). Стены короба, заглубляемого в насыпь, удерживают от расползания и осадки балласт, засыпанный в короб.

Наблюдается и более серьезное сползание насыпи со сдвигом самих опор внутрь моста под действием возросшего бокового давления из-за переувлажнения грунта, особенно на косогорах, при косом напластовании грунтов с уклоном к руслу реки. Сдвиг опор, как правило, сопровождается наклоном их в пролет, при котором пролетное строение нередко заклинивается между шкафными стенками устоев. В малых мостах при взаимном сближении устоев практически устройство массивной распорной плиты между фундаментами. Подобным образом по рис. 36.4, *г* раскреплены быки от смещения при сползании грунта на косогоре. Здесь распорная плита выполнена в виде лотка со стенками криволинейного очертания в плане для увеличения водопропускной способности сооружения при повышенных скоростях течения воды без опасности размыва русла и основания конусов.

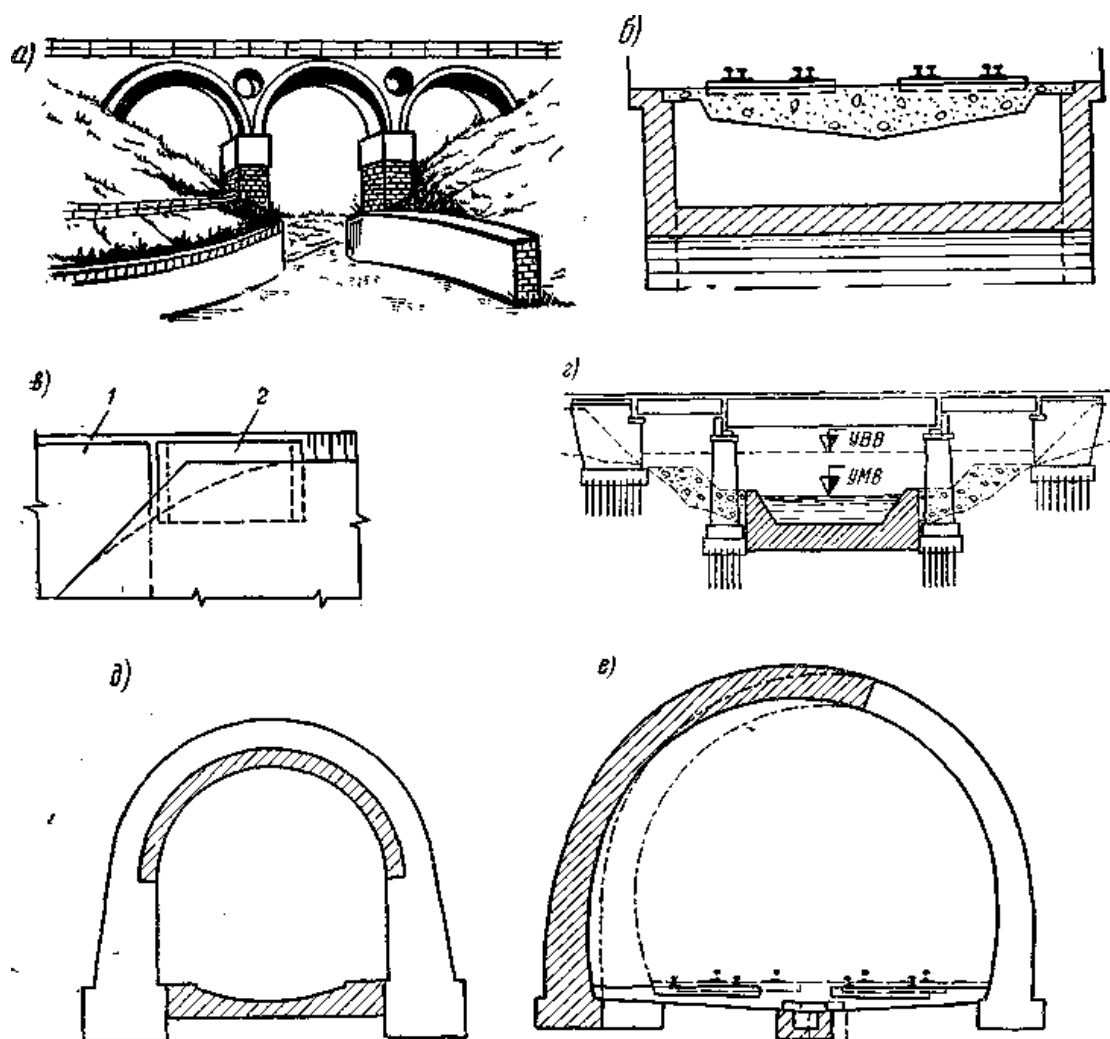


Рисунок 34.4 – Примеры использования старых массивных сооружений :
а – усиление кирпичного арочного моста железобетонной рубашкой (общий вид) ; *б*- то же , поперечный разрез по своду с рубашкой; *в* – удлинение устоя ; *з* - закрепление от сдвига опор устройством распорной плиты ; *д* - устройство рубашки внутри трубы ; *е* – расширение негабаритного тоннеля ; *1* – устой ; *2* – железобетонный короб.

Старые негабаритные тоннели расширяют до необходимых размеров одной стороной обделки (рис. 34.4, *е*). Вместе с тем для обеспечения нужного габарита по высоте понижают положение путей в тоннеле и увеличивают суженное междупутье. Такими мерами удастся приспособить старые тоннели по габариту к условиям широко осуществляемой электрификации дорог, причем и здесь использование старого сооружения позволяет сберечь 70% средств, необходимых в случае постройки нового дополнительно к старому однопутного тоннеля.

Увеличить подмостовой габарит при подтоплении, повышении дна с изменением рельефа водотока, из-за эрозии и т. п. «а мостах с ездой поверху (при отсутствии осадок опор) можно путем установки нового пролетного строения с ездой понизу. Но для этого надо расширить

переднюю стенку каждого устоя, что достигается установкой на нее двухконсольного железобетонного ригеля высотой, соответствующей уровню новых опорных частей.

Во всех случаях использования старых сооружений конструктивным изменениям сопутствует капитальный ремонт для ликвидации повреждений: заделывают раствором или бетоном выколы и местные вывалы камней, исправляют гидроизоляцию, приводят в порядок водоотвод и т. п.

При усилении металлических пролетных строений выправляют погнутые ветви и детали, а когда это сложно, наиболее деформированные части вырезают, восполняя их накладками. Сильно поврежденный элемент иногда приходится заменять новым. Пробоины, надрывы после выправки и обрезки неровных краев перекрывают накладками на заклепках или болтах.

§35. Организация работ по пропуску паводковых вод и ледохода

Пропуск ледохода и паводка 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 околота́я 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 делают 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 регуляционных 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, засасывающих камень, то предварительно в промину опускают фашинные туюфьяки, 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.

§36. Ведение технической документации по искусственным сооружениям

Для эксплуатируемых искусственных сооружений установлены три вида технической документации : карточка (паспорт), книга искусственных сооружений и дело искусственного сооружения.

Карточки содержат важнейшие технические характеристики и основные данные о сооружениях, составляются и по мере необходимости обновляются мостовым мастером, подписываются начальником дистанции пути и хранятся на дистанции пути.

Книги искусственных сооружений, составляемые из набора бланков для различных видов и частей сооружений, русел и регуляционных

сооружений, служат для записей данных о состоянии сооружения. Эти книги — индивидуальные на каждый средний и большой мост, а также на каждый тоннель, и общие — на несколько малых искусственных сооружений. Их ведет мостовой (тоннельный) мастер. Его записи в книгах периодически проверяет и подписывает начальник дистанции пути. Вместе с книгами в дистанции пути хранят технические материалы: эскизы, схемы, графики и т. п.

Все другие технические материалы самостоятельного значения: пояснительные записки, исполнительные и другие чертежи, расчеты, отчеты об осмотрах и обследованиях сооружения и прочие документы технического характера вместе с описью этих материалов помещают в Дело искусственного сооружения. Его хранят обычно в службе пути.

Для единообразия записей во всей технической документации счет (нумерация) опор, пролетов, узлов ферм, колец тоннелей и т. п. ведут в направлении возрастания километража линии, а колец труб в насыпях, как и наименование сторон искусственных сооружений,— слева направо по ходу километров.

§37. Охрана труда при содержании и ремонте искусственных сооружений

Обеспечение требований охраны труда при выполнении работ по осмотру и испытанию сооружений возлагается на руководителя работ (руководителя бригады). К работам на мосту (путепроводе) допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр и изучившие требования безопасного ведения работ.

До начала осмотра и испытания сооружения участники этих работ должны быть проинструктированы по технике безопасности.

В период работы на мосту (путепроводе) лица, участвующие в этих работах, должны быть в монтажной каске, а при остукивании поверхности бетона, древесины и заклепок должны пользоваться предохранительными очками с небьющимися стеклами.

При производстве работ, связанных с передвижением по воде и вблизи акваторий, работники должны быть обеспечены спасательными средствами, а также находиться под надзором лиц, владеющих способами спасения утопающих и умеющих оказывать им первую помощь.

На больших мостах через реки руководитель бригады обязан до начала работ проверить наличие спасательных средств — спасательных кругов, шаров, веревок и т.д. На воде должна находиться дежурная лодка.

На действующей сети железных дорог осмотр и контрольные измерения путепроводов должны производиться с обеспечением безопасности движения транспорта с установленными скоростями, при этом должны соблюдаться меры, гарантирующие полную безопасность работы на путепроводе.

При работах на высоте свыше 1,5 м и отсутствии перильных ограждений необходимо пользоваться предохранительными поясами, испытываемыми на прочность 1 раз в 6 мес. Пояса перед употреблением должны быть тщательно осмотрены руководителем работ и работающим, чтобы убедиться в их исправности и наличии отметки об испытаниях.

Производство работ на сооружении при наличии высоковольтных линий электропередач или контактной сети должно быть согласовано с организацией, эксплуатирующей линию.

Запрещается приближаться на расстоянии менее 2 м к находящимся под напряжением неогражденным проводам или контактной сети. За этим необходимо следить при работах с длинными предметами — штангами, рейками, прутами, отрезками проволоки и т. д.

Обеспечение безопасных условий работ по устройству подмостей, подвесных люлек, стремянок и других приспособлений для проведения осмотров сооружений, а также обеспечение прочности и надежности этих приспособлений возлагаются на руководителя дорожной организации, которая ведет работы по его содержанию.

Вопросы для самопроверки

- 1 Расскажите об особенностях эксплуатации искусственных сооружений.
- 2 Расскажите о видах и сроках осмотра искусственных сооружений.
- 3 Перечислите основные неисправности искусственных сооружений.
- 4 В чем заключается организация работ по пропуску паводковых вод и ледохода.
- 5 Назовите виды технической документации по искусственным сооружениям.
- 6 Перечислите основные положения охраны труда при содержании и ремонте искусственных сооружений.

Список литературы

Основные источники

1 Железнодорожный путь [Текст]: учеб./под ред.Е.С.Ашпиза.- М.:ФГБОУ УМЦ ЖДТ,2013.

4 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути [Текст] : утв. 29. 12. 2012г. № 2791р в ред. распоряжения ОАО "РЖД" от 10. 06. 2014г. № 1491р. /ОАО "РЖД".- М.: [б.и.], 2014. – 208с.

5 **Ахмедов, Р.М.** Ремонт искусственных сооружений [Тест]: учеб.пособие / Р.М.Ахмедов, Р.Р.Ахмедов.- М.:ФГБОУ УМЦ ЖДТ, 2013.

6 Ахмедов, Р.М. Ремонт искусственных сооружений [Электронный сетевой ресурс]: учеб.пособие / Р.М.Ахмедов, Р.Р.Ахмедов.- М.:ФГБОУ УМЦ ЖДТ, 2013.- Режим доступа://www . ibooks. ru.

7 Искусственные сооружения [Текст]: методич. указания и контрольные задания по спец. 2904 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство/ авт.А.Н.Иванов.-М.: ФГБОУ УМЦ ЖДТ, 2013.

Дополнительные источники

Отечественные журналы:

- 1 «Путь и путевое хозяйство»
- 2 «Железнодорожный транспорт»

Электронные ресурсы:

1 «Железнодорожный транспорт » (журнал). Форма Доступа :<http://www.zdt-magazine.ru/redact/redak.htm>

2 «Транспорт России» (еженедельная газета). ФормаДоступа :<http://www.transportrussia.Ru>

3 Сайт Министерства транспорта :[www.mintrans .ru](http://www.mintrans.ru) /

4 Сайт ОАО «РЖД» :www.zdt.ru