

**А. А. АШРАБОВ, Ч.С.РАУПОВ**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ  
СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**ГАЖК «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»**  
**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО**  
**ТРАНСПОРТА**

**А. А. АШРАБОВ, Ч.С.РАУПОВ**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ**  
**СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Часть I**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**  
**для магистров специальностей**  
**5A580212 –Мосты и транспортные тоннели,**  
**5A580603–Эксплуатация мостов и транспортных тоннелей**

**Ташкент – 2007**

УДК (624.21.8+624.19):625.1

В учебном пособии приведены основные сведения по эксплуатации и задачи реконструкции и восстановления искусственных сооружений, а также основные принципы эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах. Изложены цели, задачи и методология обследования и испытания конструкций и сооружений, а также особенности реконструкции искусственных сооружений. Приведены современные методы ремонта, усиления и реконструкции элементов железобетонных и металлических мостов, рассмотрены вопросы реконструкции и замены несущих конструкций искусственных сооружений на железных дорогах.

Книга предназначена для студентов и аспирантов строительных ВУЗов и факультетов и может быть использована специалистами научных и строительных организаций в их практической деятельности.

Рекомендовано к печати учебно-методической комиссией института.

Рисунки – 47; библиографии – 11 наим.

Составители: **А. А. Ашрабов**, д.т. н, проф., **Ч.С.Раупов**, к.т.н., доц.

Рецензенты: **А.А.Ишанходжаев** – д.т.н., проф. каф. «Мосты и транспортные тоннели» Ташкентского автомобильно-дорожного института;

**Н. А. Красин** – к.т.н., доц. каф. «Строительные конструкции, мосты и сооружения» ТашИИТ.

© Ташкентский институт инженеров  
железнодорожного транспорта , 2007 г.

# **I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЗАДАЧИ РЕКОНСТРУКЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

## **1. Основные принципы эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах**

### *Краткая характеристика искусственных сооружений на железных дорогах.*

Строительство железных дорог общего пользования в нашей стране было начато в 60-х годах прошлого века и в настоящее время эксплуатационная длина путей на железных дорогах Республики Узбекистан достигает десятков тыс. км. Одним из сложных и ответственных элементов путевого хозяйства железных дорог являются такие искусственные сооружения как мосты, тоннели, водопропускные трубы, подпорные стены, галереи, лотки, дюкеры и пр. От их исправности и надежности во многом зависит бесперебойность и безопасность движения поездов. Общая протяженность искусственных сооружений на сети железных дорог стран СНГ превышает сотни километров, что соответствует 10...15% стоимости основных средств путевого хозяйства. В среднем на 1...5 км главных путей приходится одно искусственное сооружение. Около 50% по протяженности и до 60% по количеству всех железно-дорожных мостов составляют железобетонные, подавляющее большинство которых (около 90%) построено после Великой Отечественной войны. Бетонные и каменные мосты на железных дорогах стран СНГ имеются лишь в незначительном количестве, а деревянные (они составляют около 7% общего количества мостов) являются временными сооружениями и расположены на второстепенных направлениях. Из всех искусственных сооружений на отечественных железных дорогах около 90% по количеству и 68% по протяженности составляют малые мосты (длиной до 25 м) и водопропускные трубы под насыпями, причем на долю последних приходится более 60% всех искусственных сооружений.

Первые трубы под насыпями были сооружены более 125 лет назад из каменной кладки на известковом растворе. Позднее, с конца прошлого века, для труб стали применять бетонную кладку и железобетон, что, естественно, привело к изменению их конструкции. Так, применение железобетона позволило изменить очертания труб и перейти от сводчатых и овоидальных к прямоугольным и круглым, а это дало возможность сократить сроки и снизить стоимость их строительства и, самое главное, открыло перспективы перехода на сборные конструкции. В наше время трубы под насыпями строят исключительно из сборных железобетонных элементов и преимущественно круглого сечения. За последние 25 лет количество построенных труб возросло на 15%, тогда как мостов – лишь на 1,8%. Такое соотношение свидетельствует о том, что удобные в эксплуатации трубы предпочтительнее малых мостов.

Искусственные сооружения, эксплуатируемые в наши дни на железных дорогах Узбекистана, строили на протяжении более 80 лет, чем и объясняется их разнообразие по материалам, конструктивным формам и грузоподъемности. Они существенно различаются и по своему физическому состоянию, определяемому качеством использованных строительных материалов, постройки и степенью сохранности в условиях эксплуатации. Развитие строительства железных дорог требовало нормирования основных положений проектирования мостов и в первую очередь расчетных нагрузок. Объективные условия развития строительства железных дорог в начале XX-го века не позволяли создать нормативы, учитывающие перспективу, и поэтому расчетные нагрузки и допускаемые напряжения на металл часто пересматривались. Так, первые расчетные нагрузки на железнодорожные мосты были приняты в 1875 г. с давлением на ось паровоза 117,7 кН и вагонной нагрузкой 25,8 кН/м пути. В последующих нормах

1884, 1896 и 1907 гг. нагрузки принимали соответственно равными: на ось паровоза – 147,2 и 196,2 кН, а вагонные – 21,4, 25,8 и 58,9 кН/м пути. Таким образом, уже через 30 лет со времени введения первой расчетной нагрузки давление на ось локомотива по нормам 1907 г. возросло в 1,7 и вагонная нагрузка в 2,3 раза. В 1921 г. на отечественных железных дорогах вводится новая расчетная нагрузка с давлением на ось локомотива 216 кН и вагонная – 68,7 кН/м. Начатые в странах СНГ с 1918 г. по инициативе Н. С. Стрелецкого исследования динамического воздействия нагрузок на мосты позволили в нормах 1921 г. учитывать это воздействие уже в явном виде по формуле:

$$1 + \mu = 1 + 0,625/(1 + 0,02\lambda).$$

К 1930 г., когда были выявлены перспективы развития подвижного состава, были даны обоснования к последующим нормам нагрузок для проектирования мостов 1931 г., которые просуществовали до 1962 г., а в отношении определения грузоподъемности эксплуатируемых мостов действуют и в настоящее время. В нормах 1931 г. впервые было введено понятие класса нагрузки, определяемого значением коэффициента  $K$  и принимаемого равным 6, 7 или 8 в зависимости от капитальности проектируемого сооружения. При проектировании постоянных мостов принимали  $K$  равным 8 или 7, а для временных (например, деревянных мостов) – равным 6. Расчетную нагрузку определяли умножением нагрузки от единичного эталонного поезда Н1 на класс  $K$ . В нормах 1962 г. нормативная нагрузка СК была ориентирована на далекую перспективу и представлена в виде эквивалентных нагрузок, полученных от самых различных типов и сочетаний подвижного состава. В нагрузке СК при проектировании капитальных сооружений принимают  $K = 14$ , а временных  $K = 10$ . В расчетах от сосредоточенного груза давление на ось берут равным  $2,5K$ . Следует иметь в виду, что единичная нагрузка С1 1962 г. меньше, чем соответствующая единичная нагрузка Н1 1931 г.

Металлические пролетные строения ранних проектировок имеют ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей, которые следует иметь в виду при организации их содержания. Так, в пролетных строениях мостов, запроектированных по нормам до 1896 г., применяли многорешетчатые системы главных ферм. В таких фермах нередко растянутые раскосы выполняли в виде плоских, гибких элементов, допуская неравнопрочные с основными элементами конструкции узлов, стыков и прикреплений. Горизонтальные связи в плоскости верхних и нижних поясов ферм имеют большую гибкость и слабые прикрепления в узлах. Проезжая часть этих пролетных строений в виде системы продольных и поперечных балок имела ряд существенных недостатков (шарнирное опирание поперечных балок в узлах ферм; прикрепление продольных балок к поперечным без «рыбок»; отсутствие поясных горизонтальных листов у продольных балок; опирание мостовых брусьев на элементы связей между продольными балками и др.).

Эти конструктивные особенности ряда типов старых пролетных строений обуславливали соответствующие расстройтва в элементах главных ферм, проезжей части и повышенные эксплуатационные расходы. Так, в процессе эксплуатации приходилось переустраивать шарнирное опирание поперечных балок в нес шарнирное, усиливать прикрепление продольных балок к поперечным постановкой «рыбок», дополнительных заклепок, ставить заклепки большего диаметра или высокопрочные болты, усиливать пояса продольных балок и др. Элементы главных ферм в связи с ростом поездных нагрузок планомерно усиливали по грузоподъемности сечений и прикреплений. Многие элементы в отмеченных типах пролетных строений потребовалось усилить из-

за их чрезмерной гибкости (растянутые раскосы, связи между фермами, стойки и подвески). Общим для пролетных строений ранних проектировок является наличие в них конструктивных несовершенств, создающих условия для интенсивной коррозии многих элементов и узлов (так называемые пазухи и мешки, щели в пакетах листов, отсутствие дренажных отверстий в коробчатых нижних поясах, большие расстояния между заклепками и др.). При эксплуатации указанных типов пролетных строений наиболее часто расстраивались заклепочные соединения в элементах проезжей части и в прикреплениях решетки главных ферм к узлам. В последние годы в элементах этих пролетных строений участились случаи появления трещин большей частью усталостного характера. Наиболее часто трещины обнаруживались в фасонках связей проезжей части и главных ферм, в стенках и поясах продольных балок и уголках прикрепления, в сжато-растянутых раскосах по первым трем рядам прикрепления заклепками к узлам ферм.

В дальнейшем конструкция пролетных строений улучшалась. В них фермы имели, как правило, простую треугольную или шпренгельную решетку, исключены шарнирное опирание поперечных балок и плоские элементы решетки ферм, улучшена конструкция проезжей части, стыков и прикреплений. Необходимо отметить, что пролетные строения, запроектированные по нормам нагрузки 1907 г., по грузоподъемности и прочим требованиям в основном удовлетворяют эксплуатации их под обращающимися и в настоящее время нагрузками. Общим недостатком мостов ранних лет постройки было почти полное отсутствие смотровых приспособлений, что существенно осложняло содержание сооружений. В связи с этим в современных нормативах по мостам, а также в типовых проектах предусматривают соответствующие эксплуатационные устройства. С конца 20-х годов в связи с капитальным восстановлением и строительством железных дорог в странах СНГ проводилась модернизация некоторых, наиболее часто применяющихся типов металлических пролетных строений. К этому времени были разработаны типовые конструкции ряда металлических пролетных строений. В дальнейшем при строительстве новых мостов нашли широкое применение так называемые унифицированные конструкции пролетных строений (Проектстальконструкции 1944 и 1951 гг., Гипротрансмоста 1955 г. и др.) под нагрузки Н7 и Н8 1931 г.

В послевоенном строительстве железнодорожных мостов довольно широкое применение получили пролетные строения со сплошной стенкой расчетными пролетами от 33,6 до 66 м с ездой на деревянных, а в последнее время на металлических поперечинах, а также с ездой на балласте по железобетонной плите. В районах с суровым климатом с конца 60-х годов начали применять пролетные строения, изготовленные с учетом специальных требований. В металлических пролетных строениях, построенных за последние годы, широко использовали стали повышенной прочности, заводскую сварку элементов и блоков, а также соединения на высокопрочных болтах. Такие соединения стали вытеснять заклепочные также при ремонте и реконструкции эксплуатируемых мостов. На железных дорогах СНГ в подавляющем числе железобетонных мостов применены балочные разрезные пролетные строения из обычного, а в последнее время и из предварительно-напряженного железобетона. В железобетонных мостах больших пролетов применены преимущественно арочные системы из монолитного, а более поздние из сборного железобетона. Продолжительность эксплуатации первых железобетонных мостов на наших дорогах составляет около 60 лет. В дореволюционный период железобетонные мосты строили под нагрузку 1907 г. с балочными разрезными пролетными строениями длиной до 12 м, которые бетонировали в пролете. Эти пролетные строения имели четыре ребра (рис. 1) с армированием главных ребер гладкой арматурой и хомутами из

круглой или полосовой стали; марка бетона не превышала 200 кгс/см<sup>2</sup>.

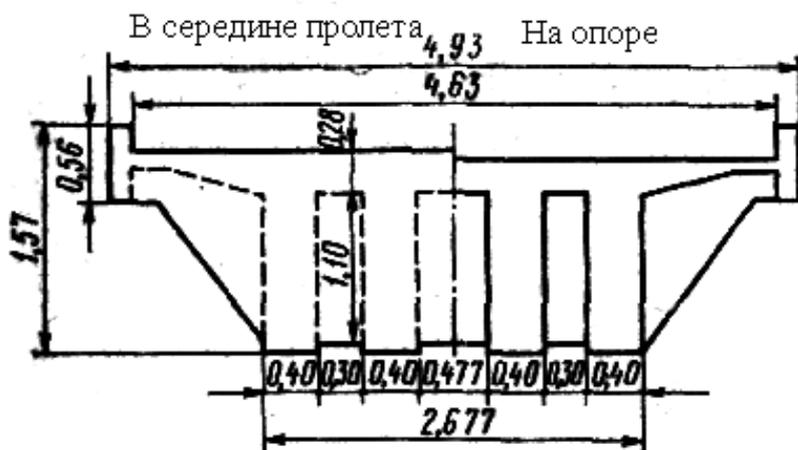


Рис. 1. Поперечное сечение железобетонного пролетного строения расчетным пролетом 10,06 м под нагрузку 1907 г

Массовое строительство железобетонных мостов в Советском Союзе началось после 1930 г. К этому времени методика расчета железобетонных конструкций существенно изменилась. До начала 30-х годов в расчетах железобетонных изгибаемых элементов учитывали работу бетона в растянутой зоне при пониженных допускаемых напряжениях в арматуре с целью обеспечения трещиностойкости этой зоны. В дальнейшем работу растянутого бетона из расчетов исключили, повысили допускаемые напряжения в растянутой арматуре и стали допускать появление трещин с раскрытием не более 0,15 мм, что позволило существенно снизить расход арматуры в конструкциях. Такая методика расчета железобетонных конструкций и была применена в типовых проектах 1934 г. (Ленпроектпуть НКПС) и последующих.

Процесс индустриализации строительства мостов, получивший широкое развитие в послевоенные годы, потребовал изменения конструктивных форм, технологии изготовления и монтажа железобетонных мостов. Массовое применение стали находить типовые конструкции ЦКБ Главмостостроя МПС, полносборные железобетонные крупноблочные мосты ЦНИИСа, рамноблочные Лентрансмостпроекта, а также рамно- и свайно-эстакадные мосты индустриального изготовления. В ряде железобетонных мостов использована безбалластная проезжая часть с ездой на деревянных поперечинах. С 1948 г. в мостах под железнодорожную нагрузку начали внедрять предварительно напряженные железобетонные пролетные строения длиной до 34 м. Первые предварительно напряженные пролетные строения, изготовленные в странах СНГ, имели арматуру, натягиваемую на бетон. В последующем от этих конструкций отказались, и в настоящее время в мостах под железную дорогу применяют почти исключительно железобетонные пролетные строения с натяжением арматуры на упоры (в стендах). Для железобетонных пролетных строений, получивших массовое внедрение в строительстве мостов в послевоенный период, характерно использование бетонов и арматуры высокой прочности. Это позволило увеличить диапазон пролетов для балочных разрезных систем. Железобетонные пролетные строения обладают достаточной грузоподъемностью для эксплуатации их под всеми видами обращающихся поездов и нагрузками ближайшей перспективы. Физическое состояние их весьма различно. В старых железобетонных пролетных строениях относительно много трещин. Из-за несовершенства конструкций гидроизоляции, системы водоотвода и во многих случаях из-за низкого качества бетона интенсивно проявляются коррозия бетона и арматуры, разрушения защитного слоя. Эти расстройтва заметно снижают долговечность и

нередко грузоподъемность пролетных строений. Ремонт многих таких пролетных строений через 50 и более лет был запоздалой мерой и поэтому не привел к радикальным изменениям, что вынуждает заменять их новыми.

В железобетонных пролетных строениях более поздних лет постройки, в том числе и в относительно новых, в процессе эксплуатации образуются различные, иногда достаточно серьезные дефекты, обусловленные несовершенством проектов, нарушениями технологии строительства и т. д. Следует также иметь в виду, что степень тех или иных расстройств в железобетонных мостах зависит от условий эксплуатации и качества содержания. Установлено, что в мостах, эксплуатирующихся в районах с суровым климатом, а также в условиях агрессивной атмосферы, коррозия арматуры и бетона протекает более интенсивно. В связи с этим с 1967 г. конструкции мостов для районов с суровым климатом рассчитывают и выполняют по специальным нормативам. Для мостов постройки после 1930 г. характерно применение монолитных и сборных бетонных опор нередко без облицовки, а также из предварительно напряженного железобетона. Достоинства таких опор общеизвестны. Вместе с тем практика их эксплуатации показала, что в бетонных и железобетонных опорах при определенных условиях могут образовываться различного рода трещины, разрушение бетона в зонах переменных горизонтов воды и ледостава, на участках швов бетонирования и между блоками и др. Указанные в самом общем виде расстройства опор в мостах снижают их долговечность, прочность, сокращают межремонтные сроки и увеличивают затраты на содержание.

В процессе эксплуатации водопропускных труб под насыпями железных дорог приходится выполнять значительные объемы работ по ремонту каменной и бетонной кладки, заделке трещин и швов в звеньях, гидроизоляции сооружения, по переустройству оголовков и лотков, увеличивать отверстия труб, а иногда заменять водопропускные трубы малыми мостами. Опыт эксплуатации и специальные исследования показывают, что основные расстройства водопропускных труб чаще всего происходят в период их сооружения и вскоре после окончания земляных работ. Для этого периода характерны появления деформаций железобетонных звеньев с образованием в них трещин, расстройства швов, изоляции и т. п. В процессе эксплуатации труб могут возникать растяжки звеньев, просадки и деформации звеньев и оголовков, расстройства входных и выходных лотков и т. д. Ввиду многочисленности труб на железных дорогах ежегодные объемы работ по их ремонту оказываются достаточно большими.

Современное состояние эксплуатируемых на сети железных дорог РУЗ мостов и перспективы развития железнодорожного транспорта настоятельно требуют расширения исследований по анализу их состояния с разработкой предложений по оценке долговечности с учетом изменения условий эксплуатации. В связи с этим важное значение приобретают исследования работы мостов в условиях высоких скоростей и режимов нагружения, а также разработка мероприятий по содержанию и ремонту сооружений в различных эксплуатационных условиях.

**Содержание искусственных сооружений.** Основной хозяйственной и производственной единицей, занимающейся непосредственно вопросами содержания искусственных сооружений на железнодорожной линии, является дистанция пути. Комплекс работ на искусственных сооружениях выполняют под руководством начальников дистанций пути и их заместителей, мостовых и дорожных мастеров и бригадиров. На железных дорогах искусственные сооружения находятся в ведении служб пути, в составе которых имеются отделы искусственных сооружений, помогающие осуществлять общее руководство эксплуатацией сооружений в пределах дороги. В системе ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» общее руководство эксплуатацией

искусственных сооружений на железных дорогах РУз осуществляет Главное управление пути, в составе которого имеется отдел искусственных сооружений. Основные положения по содержанию искусственных сооружений, порядок выполнения работ, а также обязанности линейных работников определены Инструкцией по содержанию искусственных сооружений ЦП 3084 1973 г. Содержание мостов, тоннелей, труб и других искусственных сооружений должно обеспечивать исправное их состояние для бесперебойного и безопасного движения поездов с установленными скоростями, а также длительный срок службы всех элементов путем выполнения планово-предупредительных ремонтов.

Основой содержания искусственных сооружений должно являться предупреждение возникновения в них неисправностей и отказов своевременными освидетельствованиями и ремонтом. В связи с этим работы по содержанию искусственных сооружений, технологию и периодичность их выполнения регламентируют специальными нормативами, разработанными на основе обобщения передового опыта и достижений науки и техники. Содержание искусственных сооружений предусматривает их текущее содержание и капитальный ремонт. *Текущее содержание* включает организацию надзора на протяжении всего периода эксплуатации и выполнение определенных работ. За всеми без исключения эксплуатируемыми искусственными сооружениями устанавливают тщательный надзор, включающий:

- систематический надзор;
- текущие осмотры;
- периодические осмотры; обследования и испытания;
- специальные наблюдения и осмотры.

Систематический надзор осуществляют обходчики пути и сооружений, бригадиры или монтеры пути. При осмотрах следует обращать особое внимание на состояние пути, отвод воды и пожарную безопасность сооружения. Кроме того, необходимо очищать сооружения и осуществлять по указанию дорожного и мостового мастеров простейшие наблюдения за ними.

Текущие осмотры искусственных сооружений проводят бригадиры пути, дорожные и мостовые мастера в сроки, определяемые Инструкцией по текущему содержанию пути и начальником дистанции пути для каждого сооружения в зависимости от его состояния. Так, исправные металлические, железобетонные, бетонные и каменные мосты и трубы требуется осматривать не реже одного раза в два месяца, а деревянные мосты и тоннели – не реже одного раза в месяц. При текущих осмотрах определяют общее состояние сооружения на основании освидетельствования всех его частей и элементов, а также контролируют выполнение систематического надзора. На основании текущего осмотра выявляют дефекты, требующие незамедлительного устранения, и определяют объем ремонтных работ. Результаты текущего осмотра сооружения заносят: бригадир пути и дорожный мастер – в книгу проверки пути и стрелочных переводов, а старший дорожный и мостовой мастера – в книгу искусственного сооружения.

Периодические осмотры сооружений производят начальник дистанции пути или его заместитель при участии мостового, старшего дорожного и дорожного мастеров не реже двух раз в год – весной после прохода высокой воды и осенью. Сроки периодических осмотров устанавливает начальник службы пути в зависимости от состояния сооружений. В особых случаях периодические осмотры проводят с участием представителей отдела пути отделения дороги или службы пути управления дороги. При периодических осмотрах проверяют общее состояние искусственного сооружения, качество содержания, а также определяют дефекты и причины их возникновения.

Результаты периодических осмотров заносят в книгу искусственного сооружения, а при наличии серьезных неисправностей составляют отчет, направляемый в службу пути. Помимо текущих и периодических осмотров, все искусственные сооружения по плану, утверждаемому начальником службы пути, обследует мостоиспытательная станция службы пути дороги. Обследования сложных, ответственных и дефектных сооружений производят обследовательские станции Главного управления пути, научно-исследовательских институтов и железнодорожных вузов по плану Главного управления пути ГАЖК. При таких обследованиях в необходимых случаях сооружения испытывают соответствующими нагрузками. По результатам осмотров и испытаний сооружений составляют отчет, в котором подробно отражают состояние всех элементов, результаты испытаний и измерений, а также дают рекомендации о проведении необходимых работ и определяют режим последующей эксплуатации сооружения (нагрузки, скорость).

Слабые и дефектные сооружения, а также сооружения с опытными конструкциями осматривают чаще и по специальным планам и программам. Специальный порядок надзора устанавливают и за особо крупными и ответственными сооружениями с учетом их состояния и конструктивных особенностей.

Работы по текущему содержанию сооружений выполняют по мере необходимости в течение всего года, имея целью предупреждение неисправностей и устранение дефектов в самом начале их развития. В комплекс работ по текущему содержанию искусственных сооружений входят: содержание пути в пределах сооружений и на подходах к ним, а также мостового полотна в соответствии с нормативами; содержание в чистоте мостового полотна, элементов пролетных строений и опор; очистка от наносов, зарослей и снега подмостовых русел; содержание в исправности регулиционных сооружений и водоотводных устройств с элементов моста; подготовка к зиме и пропуску паводковых вод; наблюдения за состоянием подмостового русла. За выполнение указанных работ отвечает дорожный мастер, а контроль исполнения осуществляет мостовой мастер.

Исходя из задачи текущего содержания сооружений, приходится выполнять хотя и небольшие по затратам труда и материалов, но весьма разнообразные работы, например: одиночную замену дефектных элементов мостового полотна; частичную подкраску металлических конструкций; замену одиночных слабых заклепок и болтов; принимать меры по предотвращению развития образовавшихся в металле трещин; ремонт железобетонных и каменных пролетных строений и опор (заделка трещин, швов, восстановление небольших расстройств защитного слоя, ремонт сливов и т. п.); устранение неплотностей, подтяжку болтов, стеску и антисептирование пораженных участков в деревянных элементах и т. п. За выполнение этих работ, а также за проведение инструментальных съемок и промеров русел отвечает мостовой мастер. Работы по текущему содержанию целесообразно выполнять силами комплексных бригад на всех сооружениях участка дороги.

К *капитальному ремонту* относятся работы, направленные на обеспечение длительной эксплуатации сооружения. К ним относятся: полное возобновление окраски и гидроизоляции пролетных строений; сплошная смена элементов мостового полотна; усиление слабых элементов или частей сооружения; устранение негабаритностей; замена пролетных строений; цементация опор и т. п. В силу того, что эти работы значительны по объему и сложности, их выполняют специализированные подразделения. Сроки капитальных ремонтов и объем работ определяют на основании детального обследования сооружения с учетом условий и перспективы эксплуатации. При капитальном ремонте сооружения должны быть выполнены и работы, относящиеся к текущему содержанию. За ремонтными работами, выполняемыми

специализированными подразделениями, технический надзор осуществляет мостовой мастер или другое ответственное лицо, назначаемое начальником дистанции или службы пути. Приемку законченных работ производит мостовой мастер или специальная комиссия (в зависимости от характера и объема работ), при этом исполнитель работ должен в обязательном порядке передать представителю дороги соответствующую исполнительную документацию.

Для систематического учета и контроля за состоянием искусственных сооружений предусмотрено ведение специальных карточек и книг с отражением в них основных сведений о сооружениях, данных об осмотрах, наблюдениях и ремонтах. Карточки и книги на искусственные сооружения по установленной форме ведут мостовые мастера. Кроме того, на дистанции пути или в службе пути ведут дело искусственного сооружения, в котором содержатся все технические материалы по данному сооружению, как-то: история сооружения, материалы проекта и исполнительная документация, отчеты об обследованиях и испытаниях, результаты периодических осмотров, промеров русел и инструментальных измерений и т. п.

**Эксплуатационные устройства на мостах.** Технические средства, оборудование, приспособления и пр., располагаемые на мостах для удобства и безопасности их содержания, носят название эксплуатационные устройства. К ним относятся: смотровые приспособления, противопожарные средства, устройства для защиты элементов мостов от различных воздействий, устройства для безопасности обслуживающего персонала, для прокладки линий коммуникаций и др. Смотровые приспособления на мостах, устраиваемые для безопасного осмотра и ремонта, должны обеспечивать доступ ко всем частям сооружения. Так, на пролетных строениях с ездой понизу устраивают перила по верхним поясам и лестницы для доступа к ним. Для содержания и осмотра опорных частей и подферменных площадок при высоте опор (над землей или межженным горизонтом воды) более 5 м устанавливают перила вокруг надферменных площадок и лестницы для спуска на опоры с проезжей части моста.

Для осмотра проезжей части пролетных строений с ездой понизу предусматривают откидные платформы, подвижные тележки, подмости, а в пролетных строениях с ездой поверху, как правило, – смотровые ходы, располагаемые между главными балками и снаружи. На стальных пролетных строениях с ездой понизу пролетами более 80 м по всей длине верхних горизонтальных поясов устраивают подвижные тележки. Части мостов, расположенные над землей на высоте до 5 м, осматривают с передвижных лестниц, вышек и т. п. Для осмотра и ремонта арочных мостов устраивают специальные смотровые приспособления в зависимости от конструкции моста (площадки, лестницы, проходы и т. п.), а при отсутствии их применяют подвесные люльки, подмости и другие устройства. Осмотр и ремонт деревянных мостов осуществляют, как правило, с использованием лестниц и площадок, устраиваемых в несколько ярусах по высоте опор. Для осмотра особо крупных и ответственных мостов, опытных конструкций, а также при наличии в сооружениях серьезных дефектов используют специальные смотровые приспособления по индивидуальному проекту. При текущем содержании сооружений необходимо постоянно проверять состояние смотровых устройств.

Для безопасности обслуживающего персонала на мостах длиной более 50 м устраивают площадки, располагаемые в шахматном порядке через 50 м. При длине моста от 50 до 100 м делают одну площадку посередине. На путепроводах и пешеходных мостах, расположенных над электрифицированными путями, устанавливают вертикальные предохранительные щиты (сетки) для ограждения частей контактной сети. На мостах длиной более 300 м, на совмещенных и пешеходных мостах, путепроводах, расположенных в населенных пунктах, устраивают электрическое

освещение. Металлические конструкции мостов, находящиеся на расстоянии менее 5 м от частей контактной сети при постоянном и менее 10 м при переменном токе, а также элементы крепления изоляторов контактной сети на железобетонных, бетонных и каменных конструкциях должны быть заземлены посредством специального провода, присоединяемого к какому-либо элементу конструкции и к путевому рельсу.

Мосты через судоходные реки должны быть оборудованы судоходной сигнализацией. В необходимых случаях на подходах к мостам устанавливают сигналы предупреждения, прикрытия и т. п., а также устраивают улавливающие тупики и другие элементы путевого заграждения.

На мостах нередко укладывают различные коммуникации. В этой связи большие и средние мосты должны иметь приспособления для пропуска линий связи и других проводов, разрешенных для данного сооружения. Прокладка линий сетей теплофикации, водопроводов разрешается при специальном обосновании и с разрешения служб пути. Прокладка по мостам высоковольтных линий электропередач, как правило, не допускается, а линий газопровода, нефтепровода и канализационных коллекторов вообще запрещена. Линии коммуникаций следует размещать так, чтобы было обеспечено беспрепятственное производство работ по ремонту и содержанию мостов. При подвеске на мостах воздушных линий электропередач металлические пролетные строения должны быть надежно заземлены.

**Содержание подмостового русла и мостового полотна.** Содержание подмостового русла предусматривает выполнение наблюдений за режимом водного потока у моста, пропуск высоких вод и ледохода, проведение работ по устранению опасных расстройств в подмостовом русле. Наиболее существенные расстройства в подмостовом русле, как известно, происходят в период паводков и ледохода. Для предупреждения и своевременного устранения этих расстройств организуют систематические наблюдения за водным и ледовым режимом рек и деформациями русел. Так, на мостах длиной более 100 м, а также на мостах меньшей длины, если это требуется по состоянию опор, русла реки или по характеру паводков, следует вести наблюдения за горизонтом воды, профилем дна реки, состоянием льда, проходом высокой воды, изменением в плане положения русла и направления течений. У средних и малых мостов и труб требуется определять меженный и наивысшие горизонты воды, а у мостов через водохранилища – высоту волны, направление и скорость ветра во время штормов. Наблюдения за изменением горизонта воды, как во время паводков, так и в межень производят по водомерным рейкам у опор или по шкале, наносимой несмываемой краской на опоре. Как правило, ноль водомерной рейки совмещают с обрезом фундамента, а отметку привязывают к реперу. На мостах через большие реки организуют специальные водомерные посты. Наивысший горизонт паводка отмечают на одной из опор моста, а у труб – на входном оголовке с указанием даты.

Для выявления характера и причин размыва русел (общего и местного у опор) во время прохода паводка ведут наблюдения за скоростью течения, направлением потоков и водоворотами, а также периодически производят промеры глубин воды. Обычно это делают в зимнее время до паводка и весной после спада высокой воды, а также после крупных летних паводков. Глубины русла измеряют, как правило, в трех створах: по оси моста, а также на расстоянии 25 м выше и ниже моста. При интенсивных размывах русла промеры делают в большем числе створов, а при устойчивом русле – только по оси моста. Расстояние между точками промеров (не более 10 м) выбирают так, чтобы получить четкое представление о конфигурации дна реки. Для определения характера размыва русла у опор производят дополнительные промеры. Промеры русла в каждой точке выполняют не менее двух раз и за результат принимают среднее из этих измерений. По данным промеров русла рекомендуется строить график с нанесением на

него результатов предыдущего промера, а также отметок горизонтов воды, подошвы рельсов, низа конструкции и фундаментов опор. Для выявления развития процесса размыва русла составляют сводный график за ряд лет.

В силу того, что наибольшие расстройств в русле реки, регулиционных сооружениях и других элементах мостового перехода и труб происходят в период прохода высоких вод и ледохода, текущим содержанием предусматривается выполнение определенных работ и мероприятий защитного характера. Так, у средних и больших мостов до наступления паводков должны быть проверены и отремонтированы конусы насыпей, регулиционные сооружения и их укрепления. Малые мосты и трубы особенно чувствительны к воздействию высокой воды, поэтому их следует тщательно готовить к этому периоду. Заблаговременно осенью и зимой необходимо выполнять следующие работы: (а) трубы малых отверстий закрыть на зиму щитами во избежание заполнения их снегом; (б) до начала весеннего снеготаяния отверстия малых мостов и труб очистить от снега и льда на полное сечение, а вдоль русла прорыть канавы длиной не менее 20 м как в верховую, так и в низовую стороны; (в) расчистить русло от кустарника, камней, наносов и т. п. на протяжении не менее 30 м выше и ниже моста (трубы), а также проверить и при необходимости отремонтировать укрепление русла и конусов насыпи; (г) перед трубами для предупреждения засорения их во время паводка устроить улавливающие заграждения; (д) размываемые места, являющиеся одним из источников наносов в трубах, своевременно укрепить (мощением, посадкой кустарника, планировкой русла и т. п.).

На мостах, где имеются опасения размыва насыпи, регулиционных сооружений, конусов и подмыва опор, должны быть заготовлены материалы (глина, камень, мешки с песком и т. и.) для аварийной защиты от действия высокой воды. После спада высокой воды необходимо проверить состояние всех элементов мостового перехода и особенно опор, конусов насыпей, регулиционных сооружений и подходов к мосту. Разрушения этих элементов, как создающие угрозу безопасности движения поездов, должны быть исправлены незамедлительно, а все прочие повреждения – до очередного паводка. Проход паводковых вод с повышенными против бытовых скоростями нередко приводит к следующим расстройствам элементов мостового перехода (трубы): (а) размыву насыпи из-за недостаточности отверстия моста, трубы; (б) размывам конусов насыпи с верховой и низовой стороны, вызываемым в большинстве случаев неудовлетворительным состоянием укреплений; (в) местным размывам русла, чаще всего происходящим из-за нарушения режима протекания воды, при засорениях (особенно у малых мостов и труб), катастрофических паводках, внезапных сбросах воды из водоемов выше моста и т. п.; (г) подмывам опор, как правило, вызываемым недостаточностью отверстия моста, косоструйностью течения, водоворотами, резким изменением скоростей потока вблизи моста и т. п.; (д) перемещениям русла, обычно проявляющимся в равнинных реках.

Для устранения указанных расстройств в элементах мостового перехода в каждом отдельном случае разрабатывают соответствующие мероприятия. В особо ответственных случаях выполняют проектно-изыскательные работы. Размывы откосов насыпей, конусов и регулиционных сооружений у мостов являются достаточно частым явлением. Укрепление откосов производят различными способами, в том числе дерновкой (рис. 2), каменным мощением (рис. 3) обычным и в плетневых клетках, фашинами, бетонными и железобетонными плитами и др. При укреплении откосов дерновкой плашмя дернины укладывают горизонтальными рядами по всему откосу, начиная с его подошвы, а при дерновке в стенку – с перевязкой швов в смежных рядах. Толщина дернин должна быть не менее 6 см, а высота дерновой стенки – не менее 20 см.

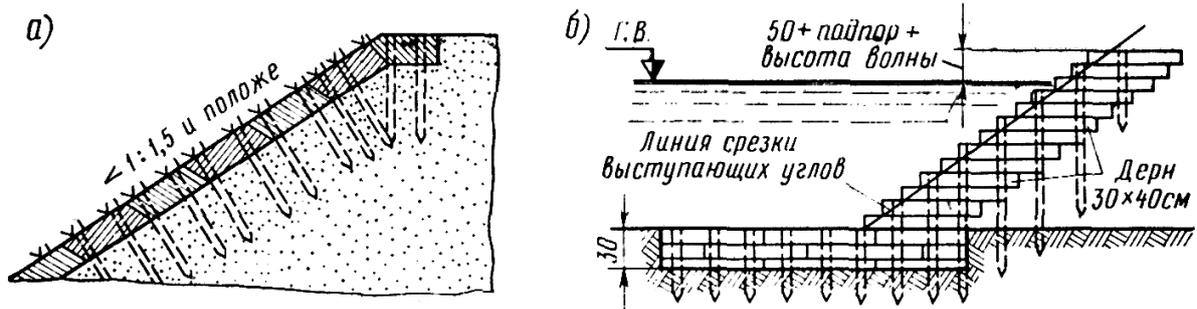


Рис. 2. Укрепление откосов дерновкой: а – плашмя; б – в стенку

Для быстрого приживания под дерн при дерновке плашмя подсыпают растительную землю слоем до 5 см. Каждую дернину к откосу крепят деревянными кольями (спицами). Каменное мощение одиночное или двойное (рис. 3) выполняют рваным камнем размером 15...30 см в зависимости от скорости воды и высоты волны. Камень укладывают на слой мха, соломы толщиной до 5 см или на слой щебня толщиной 10...15 см с подбивкой, трамбованием и расщебенкой пустот. Для предотвращения сползания камня в подошве откоса перед мощением устраивают упор. При опасных для опор размывах русла дно реки вокруг опор укрепляют каменной отсыпью, фашинными тюфяками (рис. 4, а, б) и другими средствами.

Состояние мостового полотна определяет безопасность движения поездов, характер прохождения подвижного состава и воздействия его на элементы моста. В силу этого содержанию мостового полотна на мосту и подходах к нему предъявляются весьма жесткие требования, обязывающие дорожных мастеров своевременно предупреждать, а при появлении немедленно устранять неисправности.

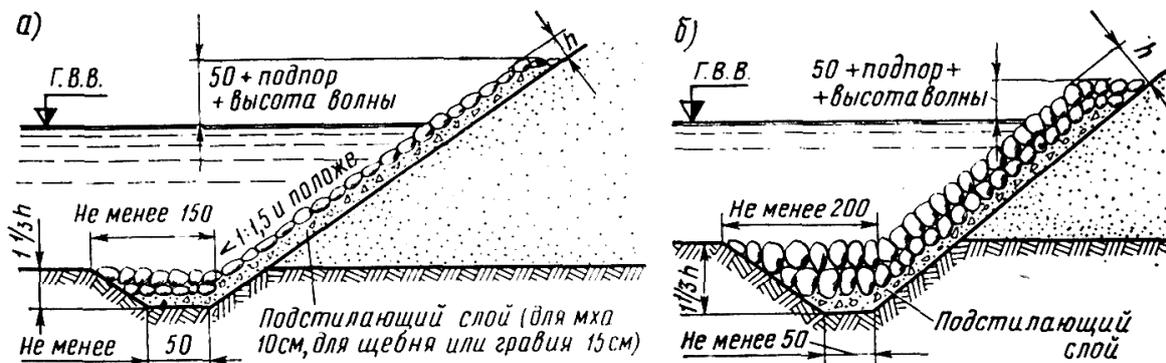
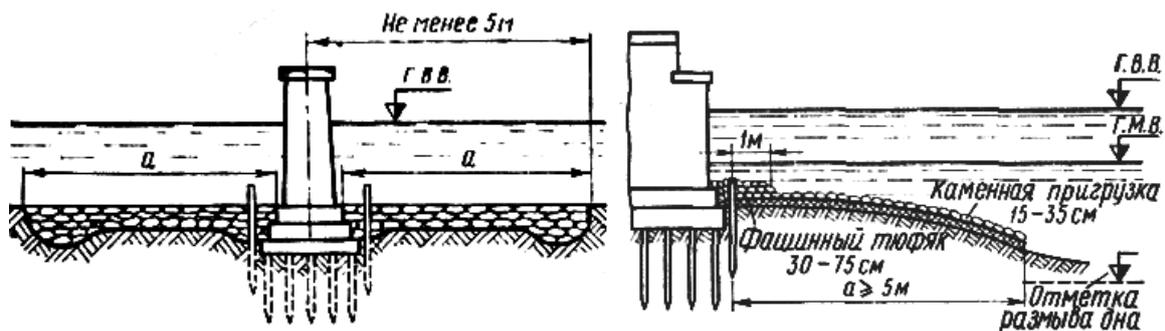


Рис. 3. Укрепление откосов каменным мощением: а – одиночным; б – двойным



а)

б)

Рис. 4. а) укрепление русла у опоры каменной отсыпью (расстояние от обреза фундамента опоры до кромки отсыпа поперек моста равно  $\frac{4}{3}a$ , вдоль – а);  
б) укрепление русла фашинным туюфом с каменной пригрузкой

Правила содержания мостового полотна, включающего в себя рельсы, шпалы и балласт, деревянные или металлические поперечины, охранные и противоугонные устройства, боковые тротуары, настил, перила, а также скрепления и прикрепления указанных элементов подробно изложены в Инструкции по содержанию искусственных сооружений ЦП 3084 за 1973 г.

Рельсовый путь на мостах, устраиваемый на балласте, на деревянных, металлических поперечинах или непосредственно на железобетонной плите, в отношении содержания по шаблону и уровню должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к пути на перегонах. В профиле железнодорожный путь должен быть плавным, без переломов и впадин. Для уменьшения динамического воздействия подвижного состава (эффект скорости) на металлических мостах в каждом пролете рельсовому пути в профиле придают криволинейное очертание (по круговой кривой) со стрелой подъема в середине не свыше  $\frac{1}{2000}$  пролета на участках скоростного движения поездов и не более  $\frac{1}{1000}$  пролета на прочих. На железобетонных пролетных строениях, имеющих небольшие прогибы от поездной нагрузки, подъема рельсового пути, как правило, не устраивают (за исключением случаев, предусмотренных проектом). Поскольку профиль по верхним поясам продольных балок (ферм), как правило, имеет иное очертание, для получения необходимого профиля пути на металлических мостах с ездой на деревянных поперечинах разрешается: прирубка мостовых брусьев до 3 см; применение брусьев различной высоты, в том числе нестандартных; подкладка под брусья досок (не более одной) толщиной не менее 4 см.

На мостах в кривых участках пути возвышения наружного рельса при езде на поперечинах достигают установкой пролетных строений с поперечным наклоном или прикреплением под брусьями деревянных подкладок толщиной не менее 4 см, а при езде на балласте – за счет соответствующей его подбивки. Передача временной нагрузки на балки или фермы (как правило, две) считается равномерной, поэтому при содержании мостов следует стремиться, чтобы оси пути и пролетных строений совпадали. Несовпадение осей пути и пролетного строения допускается на прямых участках до 5 см, в кривых – до 3 см. Если эксцентриситет в виде исключения допущен свыше 5 см, то это необходимо учитывать при перерасчете пролетного строения и мостовых брусьев. На всех мостах с ездой понизу при этом необходимо строго соблюдать габарит приближения строений.

Одним из основных факторов динамического воздействия подвижного состава на мосты являются удары колес на стыках рельсов. В силу этого следует стремиться к возможно меньшему количеству стыков на мосту, а на мостах с малыми пролетами не допускать их. Рекомендуется применять бесстыковой железнодорожный путь и длинномерные рельсы. Укладка «рубков» и разнотипных рельсов на мостах не разрешается. Сварка стыков рельсов электроконтактным способом является обязательной на мостах с уравнительными приборами в пределах температурного пролета либо на всех мостах длиной менее 30 м или в местах, расположенных ближе 2 м от конца главных ферм, прогонов, от шкафной стенки, а в арочных мостах – от деформационных швов и замка свода. Во всех остальных случаях зазоры в стыках рельсов должны иметь величину, соответствующую данной температуре. При езде на мостовых брусьях стыки рельсов типа Р 43 и более тяжелых можно делать как на весу, так и на брусьях, если

расстояние между осями брусьев не более 40 см, а при более легких типах рельсов стыки устраивают на сближенных брусьях с расстоянием между их осями 27 см. Стыки рельсов легкого типа (IV-а и ниже) непосредственно на брусьях следует избегать, поскольку в этом случае вследствие малой жесткости рельсов удары колес подвижного состава получаются более сильные. При необходимости устройства стыков рельсов на брусьях, расположенных с большими промежутками, применяют специальные устройства, например «мостики». При езде на балласте стык рельсов на мостах следует устраивать того же типа, что и на перегоне. Передача угона пути с подходов на мост не допускается, и он должен быть полностью ликвидирован на подходах к мосту при помощи соответствующих противоугонных приспособлений, поставленных с каждой стороны моста. Если же это не устраняет угона пути в пределах моста, то на нем могут быть поставлены противоугонные устройства, причем конструкция их должна соответствовать типу принятого мостового полотна.

Для направления вдоль моста подвижного состава, сошедшего с рельсов, между рабочими рельсами укладывают контррельсы либо контруголки, сводя их за устоями в челнок. Для предупреждения продольного угона и выкантовывания мостовых брусьев, а также для направления вдоль моста сошедшего с рельсов подвижного состава в случае повреждения контррельсов (контруголков) в качестве второй линии защиты ставят противоугонные (охранные) брусья или металлические уголки. Учитывая, что сходы подвижного состава с рельсов связаны с тяжелыми последствиями, взаимоположению и состоянию охранных устройств на мостах надлежит уделять особое внимание и содержать их в строгом соответствии с инструкцией. При устройстве мостового полотна на балласте для обеспечения устойчивости пути необходимо принимать соответствующие меры против осыпания балласта. Толщина балласта под шпалой на водораздельных точках должна быть, как правило, не менее 25 см и как исключение 15 см. При мостовом полотне на металлических поперечинах особое внимание следует уделять прикреплениям поперечин к продольным балкам и иметь в виду, что вследствие износа амортизирующих прокладок может происходить сужение колеи.

## **2. Эксплуатация мостов и труб в особых условиях**

### ***Влияние температурных и влажностных условий эксплуатации.***

Сооружения обычно подвергаются воздействию температур наружного воздуха с годовыми, месячными, суточными циклами колебаний. Температура в конструкциях изменяется при изменении температуры окружающей среды, стремясь восстановить термодинамически равновесное состояние. Выравнивание температуры конструкций с температурой окружающей среды происходит по глубине элемента неравномерно: в наружных слоях материал прогревается или остывает интенсивнее, чем во внутренних. Поэтому температура конструкции на разной глубине от поверхности не одинакова. Неравномерность температуры в разных слоях материала приводит к неравномерности напряжений в теле конструкции. В результате в массивных конструкциях из материалов, обладающих небольшой теплопроводностью, таких, как бетон, возникают температурные волны, приводящие в ряде случаев к образованию трещин внутри бетонных и железобетонных конструкций.

В конструкциях из материалов, обладающих большой теплопроводностью, например из стали, могут возникнуть циклические деформации, достигающие иногда недопустимых величин или приводящие к разрыву конструкций. Например, разрушаются бандажи на дымовых трубах, появляются трещины в резервуарах и

мостах.

**Влияние изменения свойств строительных материалов во времени.** Материал в сооружениях, по аналогии с биологическими средами, «живет», т.е. его состояние и характеристики в известной степени (в зависимости от рода материала, условий эксплуатации и приложенных нагрузок) изменяются во времени. Рассмотрим несколько наиболее характерных примеров. Общеизвестно, что прочность бетона в сооружениях со временем возрастает. Однако при неблагоприятных условиях – при низких температурах свежееуложенного бетона, недостаточном увлажнении его и, в особенности, при воздействии агрессивных сред, это нарастание прочности не только замедляется, но может приостановиться совсем, а в отдельных случаях – даже замениться обратным процессом. При приложении внешней нагрузки зависимость между напряжениями и деформациями в бетоне носит криволинейный характер. Но при повторных циклах нагружения (не превосходящих 40...50% от предела прочности) график деформаций постепенно выпрямляется, и бетон начинает работать практически упруго. В таких условиях находятся, например, железобетонные мосты, систематически загружаемые проходящей подвижной нагрузкой. Наоборот, длительная выдержка сооружения в ненагруженном состоянии ведет к частичному восстановлению криволинейности диаграммы деформаций.

Характеристики металла в элементах конструкций, работающих в упругой стадии, остаются практически стабильными. Пластические деформации вызывают явление *наклепа*, влияющего на физико-механические свойства материала (снижение пластичности, увеличение хрупкости, развитие анизотропии и т.д.). Длительная разгрузка отчасти восстанавливает первоначальные свойства. **Наклеп и механическое старение** металла создают условия для возникновения и развития, в особенности при пониженных температурах, опасных для целостности конструкций "хрупких" трещин. Постепенное изменение физико-механических свойств наблюдается и в других материалах – дереве, пластмассах и т.д., тем более значительное, чем в более сложных условиях протекает процесс эксплуатации сооружения. При оценке действительной работы и несущей способности конструкций выявление и учет возможных изменений характеристик материалов являются задачей первостепенной важности.

**Влияние разуплотнения стыков и соединений элементов на работу сооружения.** При вводе сооружения в эксплуатацию при первых же нагружениях возникают сдвиги и пластические деформации в соединениях и связях, сопровождающиеся появлением характерных для начальной работы конструкции так называемых "*рыхлых*" прогибов и перемещений. Постепенно элементы как бы взаимно "*притираются*" и приспособляются к условиям эксплуатации, однако сдвиги и остаточные деформации в соединениях и связях всё же возрастают. Элементы начинают работать менее слитно, ухудшаются условия их крепления и опирания, появляются трещины и другие повреждения, и возможность нормальной эксплуатации нарушается. Таким образом, состояние и работа сооружений переменны во времени. Последовательно при этом сменяются три периода:

- 1) период «приспособления», продолжающийся до тех пор, пока деформации, как в основном материале элементов, так и в их соединениях, становятся практически стабильными в данных условиях эксплуатации;
- 2) длительный период нормальной работы;
- 3) период "старения", сопровождающийся расстройством соединений и связей, появлением различных повреждений и ухудшением показателей работы всего сооружения.

### **3. Цели, задачи и методология обследования и испытания конструкций и**

## сооружений

*Целями и задачами* обследования и испытания любых сооружений является разработка методов и средств, предназначенных для качественной и количественной оценки показателей, характеризующих конструктивные и эксплуатационные свойства и состояние функционирующих объектов, их элементов и материалов, а также составление рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации в соответствии с техническими требованиями.

Обследование несущих конструкций зданий и сооружений имеет главную цель – определить действительное техническое состояние конструкций, их способность воспринимать действующие в данный период расчетные нагрузки и обеспечивать нормальную эксплуатацию здания. При обследовании выявляют дефекты конструкций, отступления от проекта и от действующих на данный период норм и технических условий, а также уточняют действительную работу конструкций на реальные эксплуатационные нагрузки. В результате обследования выявляют также степень физического износа отдельных конструкций, узлов и здания в целом, возможные причины нарушения нормальной эксплуатации или аварии. В задачи обследования могут входить поиски наилучших вариантов усиления конструкций и приспособляемости здания под новые нагрузки и условия эксплуатации при предполагаемой реконструкции здания. Если обследование проводится после аварии, анализируют ее причины, целесообразность и возможность восстановления здания или отдельных его частей. При рыночной оценке стоимости здания также проводится обследование конструкций и здания в целом, на основании которого можно судить об износе конструкций и снижении первоначальной стоимости здания, о будущих затратах на устранение дефектов и расходах на ремонт.

Обследование может быть полным или выборочным – наиболее ответственных конструкций, находящихся в неблагоприятных условиях или уже получивших повреждения и вызывающих сомнения в надежности конструкций и безопасности людей. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений содержит методы контроля качества изготовления и монтажа элементов конструкций, обеспечивающих соответствие объекта проектным значениям, а также отображение действительной работы систем. Так, на заводах железобетонных изделий выпускаемые железобетонные мостовые конструкции должны удовлетворять соответствующим техническим требованиям. Устанавливаются допускаемые отклонения от проектных размеров по длине, ширине, толщине, неплоскостности, разности длин диагоналей, смещению закладных деталей, толщине защитного слоя. Материалы, применяемые для приготовления бетона, должны удовлетворять требованиям стандартов на эти материалы и обеспечивать получение бетона заданных классов по прочности и марок по морозостойкости. Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры должна соответствовать значению, указанному в рабочих чертежах. Поверхности бетона должны быть гладкими, должны отсутствовать жировые и ржавые пятна, раковины и открытые воздушные поры, а стальные закладные детали и выпуски арматуры должны быть защищены от коррозии.

Изучение состояния монтируемой или эксплуатируемой конструкции при работе в реальных условиях обеспечивается теми же методами, что и при контроле качества их изготовления, но зачастую возникает ситуация, когда для эксплуатируемого объекта отсутствует проектная и рабочая документация. Тогда для восстановления последней требуется детальное изучение реальных условий работы системы. К подобной ситуации можно отнести и тот случай, когда необходимо определить работоспособность системы с учетом отклонения ее параметров от проектных.

Повышенные требования предъявляются к методам обследования при анализе причин аварий вследствие повреждений конструкций в процессе монтажа и эксплуатации, а также катастроф – аварий, повлекших за собой человеческие жертвы. Проводимые обследования строительных конструкций и сооружений позволяют выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации, но уточнению методов расчета тех или иных конструкций, улучшить их конструктивные схемы, технологию изготовления и монтажа.

Эффективность методов обследования строительных конструкций зданий и инженерных сооружений может быть проиллюстрирована на примере разработки антисейсмических мероприятий при строительстве зданий в г. Газли. Основой для разработки этих мероприятий послужили материалы обследования построек после происшедшего в 1976г. в этом городе землетрясения. Здания, построенные с использованием разработанных антисейсмических мероприятий, при вновь происшедшем в 1984г. землетрясении получили лишь частичные повреждения. Происшедшее в 1985 г. землетрясение в г. Мехико разрушило более 500 зданий, в том числе около 40 высотных, тем не менее ряд высотных зданий, находящихся в сейсмоактивной зоне, не получили существенных повреждений, так как были построены с учетом конструктивных решений, снижающих сейсмические эффекты.

При землетрясении в 1985г. в г. Кайраккуме (Ходжандский вил.) пострадали от разрушения корпуса зданий первой очереди Коврового комбината, запроектированного в 50-е годы без учета антисейсмических мероприятий. Здания, построенные позже с учетом антисейсмических мероприятий, не получили повреждений. История донесла до наших дней информацию о катастрофических землетрясениях, унесших большое число человеческих жизней в результате разрушения зданий и сооружений: при землетрясении в провинции Шаньси (Китай) в 1556 г. погибло 830 тыс. человек, в Лиссабоне (1755 г.) – 60 тыс человек, в Мексике в 1908 г. – 100 тыс. человек, в Кванто (Япония) в 1923 г. – 140 тыс. человек.

**Основная задача испытаний** сооружений заключается в установлении соответствия между реальным поведением строительной конструкции и ее расчетной схемой. Инженерные сооружения представляют собой достаточно сложные механические системы, состоящие из большого числа элементов, работающих в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и образующих пространственные конструкции. Несмотря на существенное развитие современной строительной механики, на широкое привлечение к расчетам быстродействующей вычислительной техники, при рассмотрении конкретных объектов, в том числе и строительных конструкций, возникает необходимость идеализации расчетных схем, которые учитывают лишь главные, основные свойства, характеризующие состояние реальной конструкции. Кроме того, поведение строительных конструкций связано с рядом факторов, носящих случайный характер, например, прочностные характеристики даже такого однородного материала, как сталь, подвержены разбросу. Так, анализ пределов текучести для стали марки Ст. 3, проведенный Н.С. Стрелецким, показал, что предел текучести может изменяться от 200 до 320 МПа. Еще больший разброс прочности имеют бетон и древесина. Значительной изменчивостью характеризуются нагрузки, действующие на строительные конструкции, здания и сооружения: собственный вес, ветер и снег, крановые нагрузки и др.

Процесс изготовления отдельных элементов конструкций, их транспортировка и монтаж также влияют на возможность появления случайных отклонений от заданных размеров. Эти отклонения регламентируются соответствующими технологическими допусками. Цель испытаний – выявление поведения инженерных сооружений, конструкций и материалов, из которых изготовлены их элементы. Испытания могут

проводиться как в лабораториях на моделях, так и на реальных объектах. Целью обследования эксплуатируемых мостов и искусственных сооружений является установление их физического состояния, с тем, чтобы полученные данные в последующем использовать при решении вопросов их дальнейшего содержания. При обследованиях ведут детальный осмотр всех частей сооружения. В тех случаях, когда в этом есть необходимость, осмотр сопровождается инструментальными измерениями с применением различных приборов и аппаратуры. Работы по обследованию обычно выполняют в два этапа. На первом этапе, которому предшествует детальное изучение технической документации, производят общий осмотр. На основании данных общего осмотра выявляют детали и элементы, которые затем подвергают более тщательному осмотру с измерениями приборами и инструментом. Такие элементы и детали выбирают из числа имеющих повреждения или дефектов. По мере необходимости определяют качество материалов и их прочностные и деформативные характеристики. Для проверки положения различных частей сооружения в горизонтальной и вертикальной плоскостях производят съемку плана и профиля. Обследование производят по заранее разработанному плану, а его результаты регистрируют в специальных журналах с зарисовками и эскизами. Характерные дефекты рекомендуется фотографировать.

По материалам обследований мостов и труб решают вопросы оценки качества сооружений и пригодности их к дальнейшей эксплуатации, определяют грузоподъемность, разрабатывают рекомендации по ремонту и усилению отдельных частей и т. п. При этом устанавливают и условия эксплуатации. В особо ответственных случаях материалы обследований дополняют испытаниями искусственного сооружения под нагрузкой. Особое внимание при обследовании мостов надлежит уделять оценке состояния мостового полотна.

**Методология обследования и испытания конструкций и сооружений.** Обследование строительных конструкций осуществляется на основе задания и включает в себя следующие этапы:

1. Составляется программа обследования с обязательными мероприятиями по технике безопасности при проведении работ.

2. Производится *предварительное или общее (рекогносцировочное) обследование* с общим визуальным осмотром объекта исследования в натуре, выявлением возможных аварийных участков. Определяются начало и период строительства, предполагаемых изменений в эксплуатации объекта (ремонта, перестройки, перепланировки, возможных аварий).

3. При этом приступают к изучению всей имеющейся по объекту технической документации. При обследовании сооружений, предназначенных к сдаче в эксплуатацию, необходимо ознакомиться с проектной и строительно-монтажной документацией, рабочими чертежами, обращая особое внимание на акты скрытых работ, журналы производства работ, заключения предшествующих обследований, паспортов на оборудование и т. д. При освидетельствовании объектов, находящихся в эксплуатации, дополнительно должны быть изучены акты сдачи в эксплуатацию, паспорта сооружений, журналы эксплуатации, документы о проведенных ремонтах, реконструкциях и другие имеющиеся материалы, характеризующие службу сооружения. Устанавливают соответствие между предъявленной документацией и сооружением в натуре. Выявленные расхождения фиксируются, оцениваются и устанавливаются их причины. В объектах, сданных в эксплуатацию, проверяется устранение недоделок, отмеченных в актах приемки.

4. Изучаются условия эксплуатации объекта или его элементов или отдельных конструкций, включая температурно-влажностный режим, агрессивность среды,

технологии производства. Берут пробы воздуха, пыли, воды и т. д. для химического анализа.

5. Осуществляются инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, позволяющие оценить состояние грунтов основания, наличие и агрессивность грунтовых вод. Эти изыскания рекомендуется проводить при отсутствии рабочих чертежей фундаментов сооружений, исполнительных документов об инженерно-геологических условиях площадки строительства либо при расположении объекта на сложных в геологическом отношении основаниях. При этом проводят бурение скважин или отрывают шурфы вблизи фундаментов и проводят лабораторные исследования грунтов.

6. Далее производится обмер конструкций, узлов и элементов с целью проверки соответствия фактических размеров проектным. Устанавливаются генеральные размеры конструкций (пролетов, высот и т. д.), контролируются сечения элементов, от соблюдения которых зависит напряженно-деформированное состояние элементов конструкций в процессе их службы. При наличии рабочих чертежей объекта необходимо дополнительно уточнить в натуре основные геометрические размеры, отметки, прямолинейность путей, расположение, количество и диаметры заклепок, болтов, длины и катеты сварных швов, армирование сечений железобетонных конструкций, наличие связей, габариты опорных столиков, закладных деталей и многое другое, необходимое для проверочных расчетов конструкций.

При отсутствии проектной документации или рабочих чертежей – составляются обмерочные чертежи конструкций, узлов, планов, разрезов, фасадов здания или сооружения, производится их фотографирование. В отдельных случаях (если это важно с точки зрения эксплуатации или при наличии обнаруженных при осмотре отклонений) проверяются также горизонтальность элементов пролетных строений, соблюдение заданных уклонов, вертикальность несущих элементов и ограждений, условия опирания и т. д. Для относительно небольших сооружений эти контрольные измерения не являются сколько-нибудь сложными и выполняются с помощью стальных рулеток, отвесов, нивелиров и т.п. При освидетельствовании же крупных сооружений и объектов сложной конфигурации применяют специальные инструменты для ускорения процесса съемки и обеспечения ее точности.

При составлении обмерочных чертежей уточняют геометрические размеры конструкций с точностью до сантиметра; размеры сечений толщины и длины швов – с точностью до миллиметра. Сечения замеряют в двух - трех местах по длине стержня. В состав обмерочных чертежей должны входить: 1) планы объекта с указанием осей, расстояний между ними, отметок и т. д.; 2) поперечные разрезы с показом основных конструкций здания и схематично-технологического оборудования; 3) продольные разрезы (схематично); 4) план фундаментов; 5) схемы расположения опор, стоек, балок и связей; 6) чертежи опор и балок пролетных строений и т. д.; для увеличения точности замеров больших конструкций пользуются рулеткой.

7. Затем производится *детальное обследование* элементов объекта с выявлением повреждений конструкций в виде износов, дефектов, нарушений сплошности (отверстия, сколы, раковины и др.), расслоений, увлажнений и замораживания материалов конструкций. Детальный осмотр конструкции следует начинать с наиболее ответственных элементов. Несущие элементы с дефектами условно можно разделить на две группы: 1) элементы, в которых имеют место отклонения, не вызывающие видимых разрушений; 2) элементы с локальными разрушениями. Выявляя в ходе осмотра дефекты первой группы, особое внимание следует обратить на опорные части, заделки и соединения и проверять их состояние и условия работы. Необходимо проверить правильность опирания и крепления опорных частей, качество сварки, ослабления

болтовых соединений. Проверять состояние сварных швов, в первую очередь следует осмотреть швы в узлах, к которым примыкают стержни с большими растягивающими и сжимающими усилиями. При осмотре необходимо зафиксировать лишние монтажные швы, которые могут изменить расчетную схему конструкции. С особой тщательностью необходимо осмотреть сжатые элементы металлических конструкций. Деформации сжатых стержней являются одним из наиболее часто встречающихся дефектов металлических ферм. Детальному осмотру подлежат также вертикальные и горизонтальные связи, узлы примыкания связей к элементам, обеспечивающим пространственную жесткость сооружения.

К дефектам второй группы, выявляемым при детальном осмотре, относятся ослабления элементов, вызванные местными разрушениями. Это могут быть срезы болтов, надрезы, сколы, обрывы отдельных элементов конструкций и т. д.; выявляется наличие коррозии, гнили и других повреждений материала, ухудшающих работу конструкций и снижающих несущую способность сооружения.

Обязательно осматриваются связи, настилы и прочие элементы, обеспечивающие требуемую пространственную работу сооружения, и проверяется правильность их опирания и крепления. Отмечается (при осмотре – визуально) наличие осадок, деформирования и взаимных смещений элементов. Производится анализ причин дефектов. При этом возможны работы по вскрытию полов, чердачных перекрытий, заделанных в стены опорных узлов балок и т. д. По результатам детального осмотра дается предварительная оценка состояния сооружения в целом и намечается план дальнейшего проведения освидетельствования (инструментальных съемок, проверки качества материала в сооружении и т.д.). Выявленные дефекты перечисляются в ведомости дефектов. К этой ведомости прикладываются необходимые чертежи, зарисовки и фотографии, по возможности указываются причины повреждений и степень их развития. Особо отмечаются дефекты, требующие немедленного устранения, и указываются рекомендуемые сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

8. На этапе детальных обследований проводят инженерно-геодезические работы по определению достоверного положения сооружения и его частей (отметки, крены и т. д.), в том числе установление точных геометрических осей конструкций и определение размеров труднодоступных частей сооружения.

9. Оценка качества материалов, примененных в конструкциях, включающая отбор образцов (проб) материала, химический анализ, стандартные испытания образцов, статистическую обработку данных испытаний и выводы о прочности, деформативности и других свойствах бетона, арматуры, кладки, раствора и т. д.

10. Уточняются нагрузки, действующие на конструкции: масса конструкций, временных и подвижных нагрузок, влияние температур, осадков и т. д. Найти действительные нагрузки и возможные их сочетания можно опытным путем и руководствуясь нормами.

При обследовании конструкций необходимо также выяснить, как приложены нагрузки к несущим конструкциям.

11. Обследуя конструкции, необходимо помнить, что при проектировании часто не учитывают действительные условия работы конструкции, так как их учет сопряжен с большими сложностями расчета. Поэтому выявление действительной расчетной схемы сооружения в целом и его отдельных конструкций является весьма важным. Расчетную схему сооружения назначают исходя из конструктивной схемы, стараясь обеспечить, возможно, более полное совпадение расчетных усилий с усилиями, которые будут возникать в натурной конструкции. Так как дифференцированно удовлетворять в расчетной схеме всем условиям работы конструкции бывает трудно, то

часть второстепенных факторов обычно не учитывают, то есть подменяют действительную работу конструкций упрощенной «идеализированной» расчетной схемой – *например*, при расчетах железобетонных рам с жесткими узлами на вертикальную нагрузку ригель рассчитывают как изгибаемый элемент, а действием продольной силы и горизонтальным смещением узлов пренебрегают.

Необходимо определить характер закрепления концов стержней, их неразрезность, тип опор, возможность совместной пространственной работы ряда конструкций, пространственной работы сооружения в целом. Например, расчетную схему стропильной фермы принимают в виде шарнирно-стержневой модели, а при конструировании вводят узлы с фасонками и сварными швами, что создает защемление стержневых элементов в узлах. Пока ферма работает упруго, жесткость соединения уменьшает прогибы фермы и частично осевые усилия в раскосах и стойках, а при переходе в пластическую стадию отмечается обратное. Расчет с учетом этих дополнительных усилий сложен и трудоемок. Поэтому жесткостью узлов пренебрегают. Принятое допущение снижает несущую способность ферм, поэтому недостаток расчетной схемы восполняют конструктивными приемами. Еще один пример: считают, что стойка защемлена в фундаменте, а в действительности из-за разных по величине напряжений в грунте под плитой фундамента происходит его неравномерная осадка и поворот фундамента, что изменяет напряженное состояние в стойках и ригеле рамы. При опирании однопролетной балки на каменную кладку эпюру напряжений в опорной части принимают прямоугольной или треугольной, хотя в действительности она имеет более сложное очертание. В результате этих допущений изменяется расчетная длина пролета. Как видим, различные допущения неизбежны при любых расчетных схемах. Важно правильно оценить их влияние на расчетные усилия: идут ли они в ущерб надежности конструкции или нет, в какой степени и т.д.

Известно, что расчетные характеристики материала снижаются при нарушении сплошности материала и возникновении внутренних дефектов: трещин, пустот. С течением времени наблюдаются различные изменения внешних воздействий (температуры, влажности, нагрузок от кранов и машин). Например, прочность бетона при нормальном влажностном режиме растет, а в агрессивной среде падает. Имеет место расстройство стыков конструкций, ухудшаются условия их крепления и опирания и т. д.

Все вышеперечисленные факторы способствуют изменению представления об идеальной работе сооружения даже при относительно удачном проекте и качестве строительства. Поэтому при обследовании конструкций необходимо выявить, в том числе и используя современные методики расчета с помощью ЭВМ, все возможные отклонения от решений, принятых в первоначальном проекте и их влияние на напряженно-деформативное состояние элементов конструкций и сооружения в целом. Возможно, при этом придется анализировать различные варианты расчетных схем, свойств материала, качества стыков и соединений и т. д., которые даже в пределах одного сооружения из-за множества однотипных конструкций могут отличаться в ту или иную сторону. Вероятностный расчет более точно отразит действительную надежность сооружения, если собрано достаточное количество данных о прочности материалов, нагрузках и дефектах. Если статистических данных недостаточно, осуществляют обычный расчет по строительным нормам.

12. Проведение проверочных расчетов и контроля состояния узлов, стыков и соединений конструкций с учетом реальных расчетных схем, нагрузок, ослаблений сечений, кривизны элементов и других дефектов конструкций и уточненных расчетных сопротивлений материала конструкций. В отдельных случаях, например в предварительно напряженных конструкциях, приходится определять также усилия и

напряжения, фактически имеющие место в исследуемых элементах. В некоторых случаях оказывается необходимым перерасчет обследованных конструкций, как например: при недостаточности или полном отсутствии расчетных данных, с чем часто приходится встречаться при освидетельствованиях давно возведенных сооружений с несохранившейся документацией; при наличии несоответствий между расчетными предпосылками и установленными при освидетельствовании фактическими данными в отношении принятой расчетной схемы, нагрузок, размеров, свойств материалов и т. д.; при наличии дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность и деформативность сооружения. По данным перерасчетов устанавливается возможность нормальной эксплуатации сооружения или даются рекомендации о необходимых ограничениях по величине нагрузки, скорости движения и т.д., а также выявляются элементы и соединения, требующие усиления.

Если в результате освидетельствования принимается решение о необходимости проведения испытаний, то перерасчет завершается подсчетом требуемой испытательной нагрузки и определением соответствующих усилий, напряжений, деформаций и перемещений в исследуемых конструкциях. Эти подсчеты должны проводиться наиболее точными методами для получения результатов, наиболее адекватно отражающих действительную работу проверяемого сооружения. На основании произведенного освидетельствования и выполненных перерасчетов составляются общая оценка состояния обследованного объекта и заключение о возможности его эксплуатации. Назначаются меры, необходимые для поддержания объекта в должном состоянии, и требования, которые должны соблюдаться при его эксплуатации.

13. Испытание конструкций пробной нагрузкой. Проводят редко, только когда неясна работа конструкции из-за недостаточности (неполноты) результатов обследования.

14. Составление заключения о техническом состоянии конструкций или технического паспорта на объект исследования.

15. Разработка рекомендаций по дальнейшей нормальной эксплуатации конструкций и, при необходимости, вариантов усиления конструкций или узлов и здания в целом.

По результатам освидетельствования с учетом данных соответствующих перерасчетов дается общая оценка состояния сооружения и, в случае необходимости, решается вопрос о проведении статических и динамических испытаний.

Представленная методика обследования зданий и сооружений может быть сокращена или расширена при обследовании конкретных объектов, с учетом поставленных задач, намеченных сроков и возможностей исполнителей и заказчика. Это учитывается в программе обследования, в которой, кроме указанных этапов, должны быть определены сроки их проведения, конкретные исполнители и др. Необходимо выделить наиболее срочные мероприятия по предотвращению возникновения аварийных ситуаций. Сомнительные, с точки зрения надежности, конструкции должны быть, по возможности, освобождены от временной нагрузки, иногда под них подводят предохранительные леса. Эти участки ограждают и оповещают персонал, чтобы вблизи них не проводились работы, которые могут ухудшить состояние конструкций и создать аварийную ситуацию.

Параллельно с составлением программы обследования для ее выполнения необходимо подготовить инструменты, приспособления, приборы и обучить персонал для их обслуживания. В программе обследования против каждой работы должны быть указаны конкретные исполнители и сроки проведения работ. Программу обследования, составленную исполнителями на основании официального оформленного задания,

согласовывает руководитель объекта. Он же, обычно, обязуется оказывать содействие и помощь в проведении обследования и выделяет своего представителя для участия в обследовании и составлении заключения о техническом состоянии объекта.

Испытания конструкций сооружений являются составным элементом обследования, но по своей методологии, аппаратному обеспечению и по методам обработки представляют самостоятельное направление экспериментальной механики. Цель этого направления состоит в создании методов и средств, позволяющих на базе экспериментальных исследований получить объективную информацию о свойствах конструкционных материалов, поведении элементов конструкций и действительной работе сооружений. Никакой, даже самый точный, расчет не сможет дать объективную информацию о действительном поведении реальных систем. В строительной механике, теории упругости и пластичности, сопротивлении материалов излагаются самые современные методы расчета идеализированных расчетных моделей, но любой из этих методов должен быть построен на объективной информации, полученной из опытов. Однако ни один из них не может быть рекомендован к использованию для практических расчетов без его экспериментальной проверки.

Парадоксальным является то, что в рамках сформированных расчетных схем с использованием современных ЭВМ можно получать результаты расчета с погрешностью  $10^{-8}$  и менее, тогда как исходная, вводимая в расчет информация по нагрузкам, прочностным характеристикам и отклонениям параметров действительного сооружения от его расчетной схемы характеризуется погрешностью, реально определяемой в пределах до 10...20%. Это не снижает роли современных методов теории расчета сооружений, а лишь подчеркивает необходимость взаимной увязки точности методов расчета сооружений с точностью исходных предпосылок, определяемых экспериментом, и точностью получаемых результатов, фиксируемых при проведении эксперимента. Существенное влияние на формирование методов и средств испытания конструкций оказывает характер изменения внешних нагрузок, действующих на строительные конструкции, здания и сооружения. Здесь различают статические нагрузки, которые постоянны по значению или медленно изменяются во времени, и динамические, быстро меняющиеся во времени. Можно сформулировать три основные задачи, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций и сооружений.

*К первой* задаче следует отнести определение теплофизических, структурных, прочностных и деформационных свойств конструкционных материалов, а также выделение характера внешнего воздействия, передаваемого на конструкции. *Вторая* задача связана с сопоставлением расчетных схем, усилий и перемещений в конструкции, которые определяются расчетным путем, с соответствующими усилиями и перемещениями, возникающими в реальной конструкции или ее модели. *Третья* задача – идентификация расчетных моделей, которая получила развитие лишь в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который основан на анализе результатов проведенных экспериментальных исследований. Теоретически решение этой задачи смыкается с проблемами кибернетики, в частности, с проблемой «черного ящика». Однако в отличие от классической постановки при рассмотрении практических задач известны некоторые характерные параметры системы, к которым можно отнести информацию о геометрии конструкций в плане, определяемой архитектурно-планировочным решением, о типе или характере несущих конструкций, о наборе конструктивных элементов, применяемых в сооружениях. На основании анализа экспериментально полученных данных о внешних воздействиях и реакций системы (прогибы, деформации, скорости, ускорения) в рамках заданной расчетной модели выявляются ее параметры, и оценивается ее эксплуатационная надежность,

прочность, устойчивость, жесткость и трещиностойкость.

#### 4. Особенности реконструкции искусственных сооружений

**Цели и задачи реконструкции искусственных сооружений.** Начало реконструкции железнодорожных мостов относят к концу прошлого столетия, когда были разработаны, а затем и осуществлены проекты замены деревянных мостов на капитальные металлические. Реконструкция моста – это изменение таких его характеристик как: отверстие моста, его статической схемы, грузоподъемности, габаритов, количества путей, вида езды и др. В общем случае необходимость реконструкции мостов определяют две группы обстоятельств: 1) физическое состояние основных элементов моста и их грузоподъемность; 2) изменения условий эксплуатации дороги или водного пути под мостом. При планировании и проектировании реконструкции моста следует предусматривать минимальные нарушения графика движения поездов.

Грузоподъемность старых металлических мостов, как правило, определяется грузоподъемностью пролетных строений и реже опор, несущая способность которых в большинстве случаев оказывается достаточной. Увеличение грузоподъемности моста за счет повышения класса пролетных строений достигается усилением пролетных строений или их заменой новыми. Директивные сроки окончания реконструкции моста с доведением его класса до необходимого уровня устанавливаются в увязке со временем ввода в обращение новых железнодорожных нагрузок. На выбор решения между усилением и заменой пролетных строений влияет целый ряд факторов, которые надлежит тщательно анализировать в каждом конкретном случае. Так, при большом различии между классом, до которого необходимо усилить пролетное строение, и его фактическим классом по грузоподъемности могут возникнуть конструктивные трудности, исключающие вариант усиления. Уровень физического состояния элементов усиливаемого пролетного строения, степень серьезности и сочетания конструктивных недостатков и дефектов следует особо учитывать как при определении характера и объемов работ по усилению, так и при оценке влияния их на надежность моста. При реконструкции мостов неизбежны ограничения движения поездов различной длительности в зависимости от способа производства работ, схемы моста, местных условий и т. д. Так, при усилении пролетных строений на все время производства работ ограничивают скорость движения и, кроме того, планируют «окна» в графике движения поездов, которые зависят от объемов и способов производства работ по усилению пролетных строений или ремонта проезжей части. Замену пролетных строений производят под прикрытием «окна» в движении поездов с закрытием перегона для выполнения всего комплекса работ. Например, для замены металлического пролетного строения длиной 45 м при помощи консольного крана требуется «окно» продолжительностью 8 ч, тогда как при замене поперечной передвижкой смонтированного на подмостях пролетного строения величина «окна» будет намного больше.

Одной из причин, вызывающей необходимость реконструкции мостов, является физический износ пролетных строений и опор. Степень этого износа определяют натурными обследованиями, а в необходимых случаях и испытаниями, выполняемыми мостоиспытательными станциями и лабораториями МПС, а также специальными комиссиями. При реконструкции моста вследствие недопустимого физического износа его элементов в общем случае заменяют старые пролетные строения новыми и усиливают или переустраивают опоры. При этом разбивку моста на пролеты чаще всего сохраняют, но иногда и изменяют. Необходимость пересмотра схемы моста может быть

продиктована рядом причин, например изменениями в режимах реки, невозможностью применить типовые конструкции пролетных строений взамен старых и т. п. При замене пролетных строений следует применять типовые конструкции для новых мостов или специально разработанные для замены старых, а в индивидуальных решениях максимально использовать элементы типовых конструкций.

Изменения условий эксплуатации дороги или водного пути, на которых расположен мост, могут вызвать достаточно сложные и дорогостоящие работы по реконструкции. Так, одним из массовых видов реконструкции мостов является переустройство однопутных мостов в двухпутные. В связи с электрификацией железных дорог в целом ряде случаев приходится изменять как по высоте, так и по ширине габаритные размеры внутреннего очертания пролетных строений. На многих реках в связи со строительством гидроэлектрических станций образуются водохранилища, которые изменяют условия судоходства как выше, так и ниже плотин ГЭС. Изменения условий судоходства под мостами, расположенными ниже плотин, как правило, не требуют пересмотра судоходных подмостовых габаритов. В мостах же, оказавшихся в зоне подтопления, приходится поднимать пролетные строения с соответствующим наращиванием опор, а иногда и увеличивать судоходные пролеты.

При капитальных ремонтах и реконструкции пути нередко изменяется отметка подходов к мостам, например при постановке пути на щебеночный балласт, при изменениях профиля линии и т. п. В таких случаях на малых мостах приходится наращивать борта железобетонных пролетных строений, кордонные камни и подферменные площадки. При реконструкции пути подъемку пролетных строений больших мостов, как правило, не производят, так как высоту балластного слоя на подходах к таким мостам можно менять срезкой грунта под основанием балластной призмы.

При строительстве автомобильных дорог нередко возникает необходимость пересечения ими больших рек. Вместо сооружения в таких случаях дорогостоящих мостов можно на некоторый срок использовать существующие железнодорожные мосты для устройства на них автомобильных проездов. Вполне понятно, что технико-экономическая целесообразность переустройства железнодорожного моста в совмещенный должна быть обстоятельно исследована, при этом следует особенно тщательно проанализировать перспективы изменения подвижных нагрузок, порядок усиления, а также вопросы, связанные с устройством развязок, обеспечения безопасности движения и содержания моста. При реконструкции больших мостов на каждом из них необходимо руководствоваться сроками реконструкции, условиями движения поездов, конструкцией и состоянием основных элементов моста и т. д., что приводит к индивидуальным решениям.

Малых мостов значительно больше и при их реконструкции, нередко в пределах участка, а иногда и целого направления железнодорожной линии, широко применяются однотипные конструкции. Поэтому в первую очередь исходят из совокупности обстоятельств, определяющих эксплуатационную работу участка, линии, на которых находятся эти мосты. Индивидуальные особенности каждого малого моста в пределах рассматриваемого участка влияют на конструктивные формы и порядок реконструкции в меньшей степени. Уровень затрат и сроки реконструкции в большой степени зависят от организации работ. В связи с этим можно сделать вывод о том, что реконструкцию групп малых мостов однотипной конструкции следует проводить в возможно короткие сроки, специализированными подразделениями по заранее разработанным планам для направления или участка. При иной форме решения этой задачи, например, если работы по реконструкции проводить эпизодически, с большими перерывами, возрастают как строительные, так и дополнительные затраты от ограничений движения

поездов. При реконструкции мостов малых пролетов металлические пролетные строения, как правило, заменяют железобетонными с ездой на балласте. Такая замена пролетных строений улучшает эксплуатационные качества реконструированных мостов ввиду уменьшения эксплуатационных расходов и устройства езды на балласте.

Обследования состояния старых пролетных строений малых пролетов со сплошными главными балками показывают, что в них нередко в хорошем состоянии находятся вертикальные листы, нижние пояса, поперечные связи и стыки, причем многие пролетные строения ни разу не были усилены. Поэтому в целом ряде случаев может оказаться целесообразным использовать такие пролетные строения после реконструкции для дальнейшей службы, произведя необходимое усиление. При этом работы по усилению целесообразно проводить на базах, создав оборотный фонд пролетных строений. Расчеты грузоподъемности таких пролетных строений показывают, что в большинстве случаев в них достаточно усилить пояса главных балок. Пролетные строения со сплошной стенкой можно усиливать и другим способом, например установкой железобетонной плиты, включенной в совместную работу с главными балками.

**Критерии экономичности проектных решений реконструкции искусственных сооружений.** При сопоставлении вариантов усиления и замены пролетных строений должен быть выполнен технико-экономический анализ. В первом приближении экономическую целесообразность усиления пролетного строения или замены его новым оценивают по типовой методике определения экономической эффективности капитальных вложений (см. например, «Методические указания по определению экономической эффективности капитальных вложений и технических решений в транспортном строительстве», М., Оргтрансстрой, 1974.), используя понятие о приведенных затратах, учитывающих эффективность отдаления капитальных вложений. Так, если стоимость усиления эксплуатируемого пролетного строения составляет  $C_y$  и через  $t$  лет вследствие физического износа или исчерпания грузоподъемности

его придется заменить новым со стоимостью  $C_H$ , то приведенные затраты по варианту усиления пролетного строения будут:

$$C_{прив} = C_y + \frac{C_H}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

где:  $E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $C_H$  – единовременные затраты на смену усиленного пролетного строения новым;  $t$  – срок службы усиленного пролетного строения до замены.

Усиление пролетного строения будет целесообразнее замены новым, если:

$$C_y + \frac{C_H}{(1 + E)^t} < C_H, \quad (2)$$

$$\text{т. е. } C_y = C_H \left[ 1 - \frac{1}{(1 + E)^t} \right] = C_H \alpha, \quad (3) \quad \text{где: } \alpha = 1 - \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (4)$$

При определении коэффициента  $\alpha$  по формуле (4) следует иметь в виду, что применительно к мостам нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений принимают равным в пределах 0,08... 0,12, а срок службы  $t$  усиленного

пролетного строения до следующего усиления или замены не свыше 20 лет. Оценка экономической целесообразности вариантов усиления пролетного строения или замены его новым по строительным стоимостям с учетом эффективности отдаления капитальных вложений является недостаточно совершенной, поскольку при этом не учитываются затраты, вызванные ограничениями движения поездов, а также дополнительные эксплуатационные расходы и др. Исследуя этот вопрос, НИИ мостов ЛИИЖТа разработал более совершенную методику определения экономической эффективности усиления и замены металлических пролетных строений железнодорожных мостов, основанную на сравнении вариантов по приведенным затратам с учетом фактора времени. По этой методике при определении приведенных затрат, кроме строительной стоимости, учитывают дополнительные текущие эксплуатационные расходы, оборотные средства и капитальные вложения, возникающие в результате ограничения скорости движения поездов и предоставления «окон» в процессе производства работ. Приведенные затраты рекомендуется определять по следующим выражениям:

а) при усилении пролетного строения с последующей его заменой

$$C_{прив}^y = K_0^y + \sum_1^{t_1} \frac{C_{t_1}}{(1+E)^t} + \frac{K_1}{(1+E)^t} + \frac{C_{t_2}}{(1+E)^t}; \quad (5)$$

б) при замене пролетного строения:

$$C_{прив}^э = K_0^3 + \sum_1^{t_2} \frac{C_{t_2}}{(1+E)^t}, \quad (6)$$

где  $K_0^y, K_0^3$  – единовременные затраты соответственно на усиление и замену пролетного строения;  $C_{t_1}, C_{t_2}$  – ежегодные эксплуатационные расходы, включающие амортизационные отчисления и затраты по текущему содержанию соответственно усиленного и нового пролетного строения, определяемые обычным порядком;  $t_1$  – срок службы усиленного пролетного строения;  $t_2 = t_1 + 1$  – срок, ограничивающий период суммирования затрат по вариантам;  $K_1$  – единовременные затраты на замену усиленного пролетного строения новым, производимые через  $t_1$  лет; в частном случае  $K_1 = K_0^3$ ;  $E$  – коэффициент экономической эффективности капитальных вложений ( $E = 0,1$ ).

Единовременные затраты по усилению пролетного строения  $K_0^y$  слагаются из стоимости строительных работ  $K_c^y$  и дополнительных затрат ( $K_D^y + K_{ПЧ}^y$ ), вызванных ограничениями в движении поездов, т. е.:

$$K_0^y = K_c^y + K_D^y + K_{ПЧ}^y, \quad (7)$$

$$\text{где, } K_D^y = C_э + C_б + (K_M + K_{ПС})E + C_{ПЧ}.$$

Здесь:  $C_э$  – энергетические расходы, вызванные торможением и разгоном поездов;  $C_б$  – дополнительные расходы на содержание поездных бригад;  $K_M$  – увеличение оборотных средств (отвлеченных в стоимость грузов, находящихся в пути

следования) за счет ограничения скорости движения поездов в период работ по усилению моста;  $K_{ПС}$  – единовременные затраты, вызванные увеличением парка вагонов и локомотивов;  $K_{ПЧ}$  – затраты, вызванные дополнительной задержкой пассажиров в пути из-за ограничений скоростей движения поездов;  $K_{ПЧ}^y$  – затраты, связанные с простоями поездов и предоставлением «окон».

Единовременные затраты по замене пролетного строения  $K_0^3$  слагаются из стоимости строительных работ  $K_c^3$  за вычетом ликвидной стоимости заменяемого пролетного строения  $K_{Л}^3$  и дополнительных затрат  $K_{ПЧ}^3$ , вызванных простоем поездов в период действия «окна», т. е.

$$K_0^3 = (K_c^3 - K_{Л}^3) + K_{ПЧ}^3, \quad (8)$$

Единовременные затраты на замену усиленного пролетного строения новым  $K_{.1}$  в (5) определяют аналогичным путем. Затраты, связанные с простоями поездов при предоставлении «окна» для замены пролетного строения  $K_{ПЧ}^y$  и  $K_{ПЧ}^3$ , вычисляют по формуле

$$K_{ПЧ} = U_{ПЧ} N_t,$$

где  $U_{ПЧ}$  – приведенная стоимость 1 ч простоя поезда;  $N_t$  – количество поездо-часов простоя при действии «окна».

Из существа рассмотренной в самом общем виде методики видно, что она при всей ее несложности требует учета разносторонних параметров и факторов, часть из которых изменяется со временем по объективным причинам, а некоторые могут быть изменены с целью отыскания оптимального варианта. Решение задачи в таком плане следует делать на ЭВМ, руководствуясь принципами оптимизации. В связи с тем, что данная методика определения экономической эффективности усиления и замены пролетных строений нуждается в дальнейших уточнениях, ее изложение дано в общем виде.

## **II. РЕМОНТ, РЕКОНСТРУКЦИЯ И УСИЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВ, ПУТЕПРОВОДОВ И ТРУБ**

### **1. Методы ремонта и усиления конструкций мостов**

Существующие способы ремонта железобетонных пролетных строений можно разделить на два вида: 1) направленные на обеспечение долговечности конструкций и 2) восстанавливающие грузоподъемность. В соответствии с указанными способами ремонта применяют и свои методы ведения работ, оборудование и материалы.

Для герметизации мелких трещин применяют покрытие бетонных поверхностей битумным лаком, а крупные трещины перед затиркой цементным раствором разделять на глубину до нескольких миллиметров. Разделка трещин перед затиркой цементным раствором в известной мере повышает эффективность герметизации, однако не настолько, чтобы исключить повторные ремонты. В последние годы в ряде научно-исследовательских организаций проводятся исследования, связанные с созданием новых способов заделки трещин, а для работников служб пути разработаны

(ЦНИИ МПС) Указания по защите от коррозии и заделке повреждений бетонных и железобетонных конструкций мостов, 1966 г. Основные положения этого указания сводятся к следующему. Прежде чем приступить к ремонту участков пролетных строений с видимыми дефектами (трещины, отслоения, сколы и т. п.), необходимо тщательно освидетельствовать работу водоотводных устройств (гидроизоляция, трубки, желоба, сливы, перекрытие деформационных швов и т. п.) и привести их в состояние, исключающее проникание воды в тело конструкции. Без этого только ремонт дефектов не эффективен.

Выбор способа ремонта (технология, материал) зависит от характера дефектов, которые по влиянию на конструкцию могут быть разделены на три группы:

– не снижающие прочности и долговечности конструкции (мелкие поверхностные раковины, трещины раскрытием не свыше 0,2 мм, сколы бетона без оголения арматуры и т. п.);

– снижающие долговечность конструкции (трещины раскрытием более 0,2 мм, раковины и сколы с оголением арматуры, поверхностная и глубинная коррозия бетона и т. д.);

– снижающие несущую способность конструкции (наклонные трещины в стенках балок, горизонтальные трещины в сопряжении плиты и стенки пролетных строений, раковины и пустоты в бетоне и др.).

Дефекты первой группы не требуют принятия мер срочного характера, однако в профилактических целях их следует устранять при текущем содержании. При дефектах второй группы ремонтом надлежит предусматривать обеспечение долговечности сооружения, а поэтому применяемые при этом материалы должны иметь высококачественные защитные характеристики. При дефектах третьей группы ремонт производят с целью восстановления несущей способности конструкции, и к применяемым при этом материалам и технологии предъявляются требования обеспечения прочностной заделки.

В упомянутом указании рецептура материалов и технология производства ремонтных работ ориентированы на устранение дефектов первой и главным образом второй группы. Рекомендуемые для этих целей материалы подразделяют на две группы. К первой группе относят составы, которые после схватывания с бетоном образуют жесткие покрытия, по своим свойствам близкие к цементному камню. Эти составы применяют для устранения дефектов на участках конструкций с небольшими деформациями, в том числе трещин, меняющих раскрытие от действия временной нагрузки и температуры не свыше 0,1 мм, а также некоторых трещин в предварительно напряженных пролетных строениях вдоль стержневой арматуры и большинства усадочных. Вторую группу составляют резиноподобные эластичные составы, не разрушающиеся при значительных деформациях. Эти составы (эластичные герметики) используют, в том числе инъектированием, для герметизации трещин, изменяющих раскрытие от действия временной нагрузки и температуры более 0,15 мм. Такие трещины могут быть в стыках элементов сборных конструкций, поперечные в растянутой зоне балок, вблизи опорных частей и т. д.

Из жестких составов применяют цементные растворы и бетоны с полимерными добавками, а также составы на основе некоторых видов синтетических смол, например эпоксидных. К эластичным покрытиям относят покрытия типа «герметик», образуемые на основе синтетического каучука (жидкий тиокол) и каучуко-битумные композиции. Для защиты пролетных строений от коррозии в агрессивной атмосфере используют покрытия на основе эпоксидной, перхлорвиниловой смол и кремнийорганических лаков. Для сплошной окраски конструкций с целью придания им декоративного внешнего вида рекомендуется использовать полимерцементные краски, состоящие из

цемента, водной поливинилацетатной эмульсии или синтетического латекса и воды.

*Подготовка дефектных участков конструкции к ремонту.* Участки бетонной поверхности конструкции, на которую предстоит нанести покрытие, прежде всего, расчищают до плотного бетона, при этом острые выступы снимают механическим способом (зубилом, молотком, стальными щетками, скребками). Особенно тщательно обрабатывают участки с отслоениями бетона, шелушением и в зонах коррозии арматуры. Для механической обработки бетонных поверхностей рекомендуется применять гидropескоструйную очистку. После механической обработки поверхности желательнее продувать сжатым воздухом.

Загрязненную маслами, асфальтом, цементным молоком и др. поверхность бетона подвергают химической обработке 10% раствором каустической соды, бензином, ацетоном и другими растворителями. После применения каустической соды поверхность следует тщательно промыть водой, желательнее под напором. Трещины с большим раскрытием, подлежащие заделке, предварительно разделяют на клин под углом 45... 60° или в виде прямоугольника на глубину до 30 мм (рис. 5).

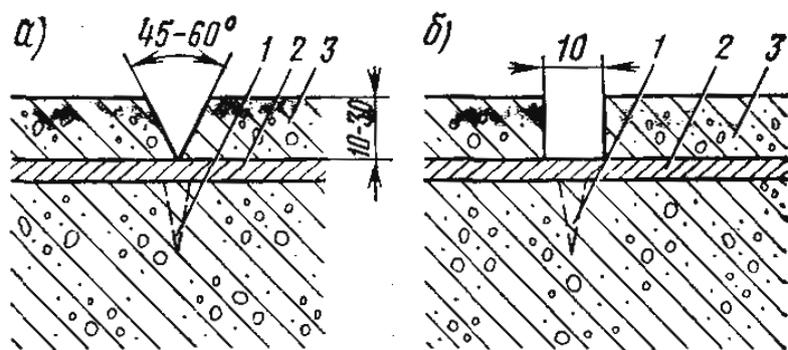


Рис. 5.

Схема разделки трещин: а – на клин; б – на прямоугольник; 1 – трещина; 2 – арматура; 3 – защитный слой бетона

На участках конструкции с большими отколами бетона и обнажениями арматуры устанавливают арматурные сетки с прикреплением их к основной арматуре. Размеры ячеек сеток и диаметр стержней (проволоки) выбирают исходя из величины поврежденного участка. Обнаженную арматуру, особенно если она поражена коррозией, очищают до чистого металла металлическими щетками или пескоструйным способом. Перед нанесением полимерцементных составов поверхность бетона увлажняют, чтобы уменьшить отсос воды из покрытия в тело конструкции. Если участки конструкции ремонтируют с применением синтетических смол, то перед их нанесением бетон тщательно просушивают, а во время нанесения покрытия принимают меры, исключающие попадание воды на ремонтируемые участки.

С целью более экономного расхода покрытий рекомендуется неровные ремонтируемые участки предварительно шпаклевать. Это в первую очередь относится к покрытиям на основе синтетических смол, как относительно более дорогим. Подготовку ремонтируемых поверхностей в случае предварительного нанесения шпаклевки выполняют, как указано ранее. Трещины и пустоты в бетоне, в которые предусмотрено инъектирование составов, предварительно продувают сжатым воздухом и промывают водой. Для инъектирования растворов в глубь конструкции применяют специальные инъекционные трубки (трубчатые инжекторы), прижимные инжекторы (губки).

Количество трубок и расстояние между ними назначают в зависимости от характера трещины (длина, раскрытие), но в любом случае их располагают не далее 50 см одна от другой. Для контроля заполнения трещин при возможности трубки устанавливают с внутренней и наружной сторон конструкции (при сквозных

трещинах). Конструкция трубок может быть различной в зависимости от характера дефекта, режима нагнетания и т. п. Не исключается и применение трубок из эластичных материалов (резиновые, хлорвиниловые и др.). Трубки вставляют в рассверленные в бетоне (по трещине) отверстия (лунки) и герметизируют, например, эпоксидным составом. Конструкция простейшего трубчатого инжектора представлена на рис. 6. Участки трещины между трубками, прижимными инжекторами должны быть загерметизированы, например, промазкой эпоксидным клеем, наклейкой лент из стекло- или хлопчато-бумажной ткани и т. п. Возможны и другие способы поверхностной герметизации трещин, но в каждом случае они должны обеспечивать хорошее глубинное проникание составов в трещину. Трещины, изменяющие ширину раскрытия от действия временной нагрузки и температуры более чем на 0,15мм, рекомендуется заделывать эластичными герметиками, которые наносят на разделанные трещины или нагнетают вглубь через прижимные или трубчатые инжекторы. Эластичные герметики образуют на основе жидких тиоколов (полисульфидный каучук) с введением вулканизатора, ускорителя отверждения и пластификатора. На поверхность конструкции эластичный герметик наносят кистью, шпателем, а нагнетают в глубь трещин при помощи ручных и пневматических шприцев. Тиоколовые герметики вулканизируются при положительной температуре и обладают хорошей адгезией к бетону и долговечностью.

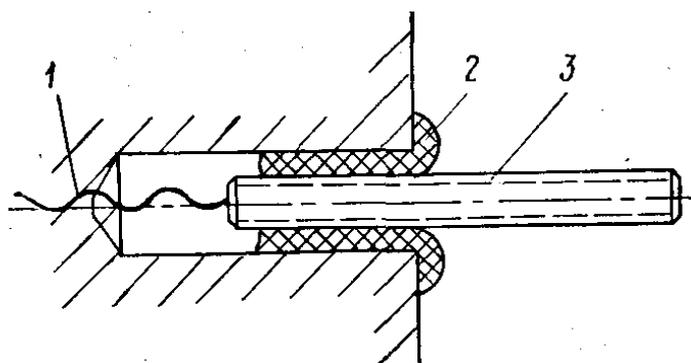


Рис. 6.  
Трубчатый инжектор:  
1 – трещина;  
2 – обмазка  
эпоксидным клеем;  
3 – трубка

Необходимость в усилении железобетонных мостов, имеющих, как правило, достаточную грузоподъемность (это относится и к старым мостам), возникает весьма редко. Все же в отдельных случаях может потребоваться усиление железобетонных балочных пролетных строений, причем в первую очередь по несущей способности главных балок по нормальным, а также главным растягивающим напряжениям. Способы усиления пролетных строений выбирают с учетом ряда обстоятельств, например состояния основных элементов, уровня усиления, условий производства работ и т. п. Усиление железобетонных пролетных строений осуществляют либо увеличением сечения их элементов, либо изменением системы. При небольшом усилении (10...15%) увеличение рабочих сечений балок может быть обеспечено добавлением арматуры, привариваемой к стержням нижнего ряда. Для этого удаляют защитный бетонный слой до половины стержней нижнего ряда и к ним приваривают добавляемые стержни через коротышей длиной 10...20 см (рис. 7,а), после чего бетон нижнего пояса восстанавливают торкретированием. В этом случае высота балки почти не увеличивается, а грузоподъемность ее повышается за счет добавляемой арматуры, которая, как это понятно, будет работать на усилия от временной нагрузки.

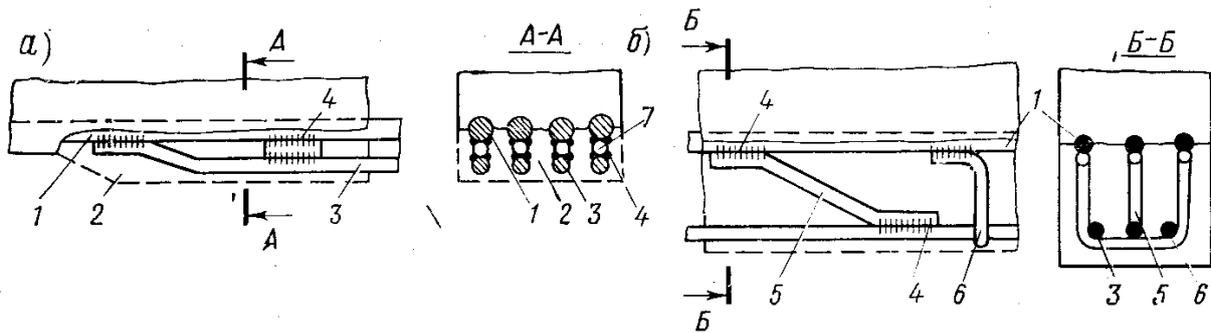


Рис. 7. Усиление железобетонных балок путем постановки дополнительной арматуры:  
*а* – с приваркой стержней через коротыши; *б* – с приваркой каркаса;  
 1 – существующая арматура; 2 – зона усиления; 3 – арматура усиления;  
 4 – сварка; 5 – наклонный коротыш; 6 – прямой хомут; 7 – коротыш

Более существенного повышения грузоподъемности пролетного строения (15...35%) достигают увеличением высоты балок (до 20 см) и площади рабочей арматуры приваркой каркаса (рис. 7, *б*), состоящего из продольных, наклонных стержней и коротких хомутов. Добавляемую арматуру после удаления защитного слоя приваривают к существующей посредством наклонных коротышей. Хомуты, объемлющие добавляемую арматуру, верхними концами также приваривают. При этих работах во избежание пережога арматуры в местах сварки стержни диаметром менее 12 мм не применяют. После установки арматурного каркаса зону усиления бетонируют в опалубке бетоном на мелком щебне или цементно-песчаным раствором марки не ниже 300. Бетон заполнения подают через загрузочные воронки сбоку под напором столба до 1 м и уплотняют наружными вибраторами, закрепляемыми на опалубке. Для обеспечения хорошего сцепления старого и нового бетонов поверхность тщательно обрабатывают. Рекомендуется на контакте между старым и новым бетоном (до бетонирования) нанести эпоксидно-тиоколовую клеевую или полимерцементную прослойку толщиной до 1 мм. Бетоны надо применять пластичные по возможности на быстротвердеющих, безусадочных и расширяющихся цементах.

Главные балки ребристых пролетных строений усиливают увеличением толщины стенок и сечения нижнего пояса. При этом можно увеличить площадь, как основной рабочей арматуры, так и бетона и арматуры стенок балок. Этим способом на одном из мостов были усилены балочные пролетные строения длиной 15 м, имевшие большое количество поперечных и наклонных трещин. Главные балки этих пролетных строений заключили в железобетонную «рубашку» толщиной снизу 20 см и с боков по 5 см (рис. 8). Добавленная арматура диаметром 36 мм состояла из стержней, приваренных к существующим, отгибаемых вверх

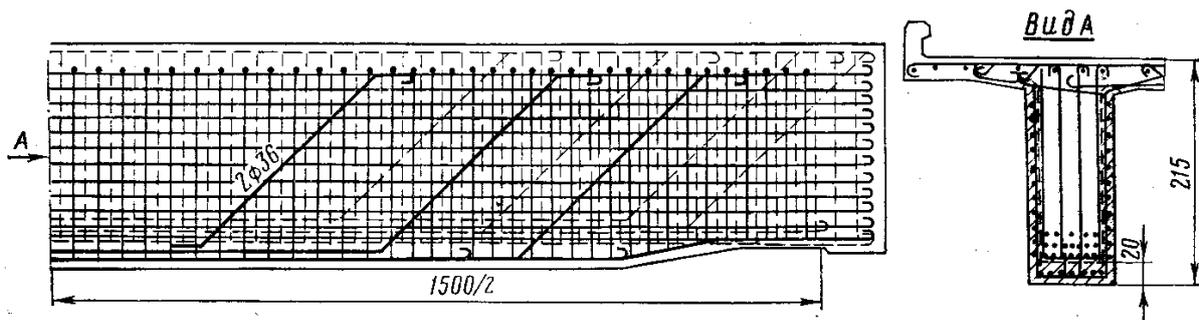


Рис. 8. Усиление пролетного строения железобетонной оболочкой (на фасаде балки показана только арматура усиления)

по боковым граням балок и обрываемых в растянутой зоне. По боковым граням балок установили горизонтальные стержни диаметром 12 мм, привязав их к хомутам, охватывающим дополнительно поставленную арматуру в нижней зоне. Хомуты верхними концами приварили к арматуре плиты, а нижними – к рабочей арматуре балок. «Рубашку» бетонировали в деревянной опалубке. Для лучшего включения элементов усиления в работу от внешних нагрузок целесообразно добавляемую арматуру предварительно напрягать.

Возможности усиления железобетонных мостов изменением их системы ограничены. По соображениям конструктивного порядка, а также из требований минимального ограничения в движении поездов во время ведения ремонтных работ целесообразно применять для усиления шпренгели (рис. 9). Шпренгели образуют из двух ветвей, располагаемых симметрично по отношению к ребру каждой балки, при этом очертание их может быть прямолинейным или полигональным. При прямолинейном шпренгеле в балке уменьшаются только изгибающие моменты, а при полигональном – изгибающие моменты и поперечные силы. Изготавливают шпренгели из стержневой высокопрочной арматуры, тросов, пучков высокопрочной проволоки, прядей и т. п., а включение их в работу осуществляют натяжением.

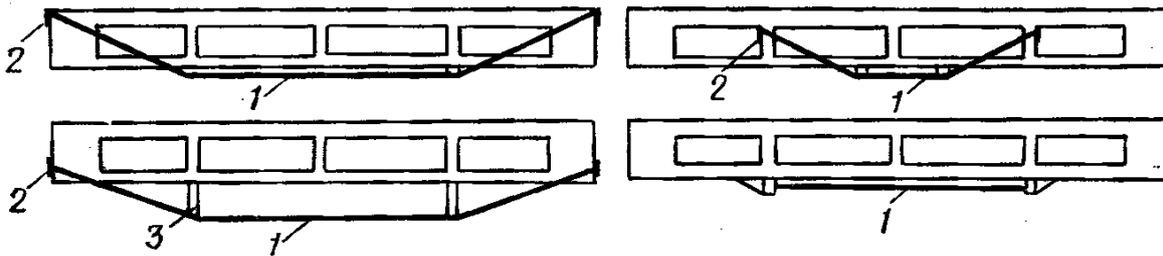


Рис. 9. Схемы усиления балок шпренгелями: 1 – шпренгель; 2 – анкер; 3 – распорка

Для закрепления и натяжения шпренгелей используют анкерные устройства, обычно применяемые при изготовлении предварительно напряженных железобетонных конструкций. В некоторых случаях натяжения шпренгелей достигают оттяжкой их в вертикальной плоскости домкратами, а шпренгелей из высокопрочных арматурных стержней – электронагревом.

**Ремонт и усиление опор.** Обеспечение надежности и долговечности опор мостов требует периодического проведения работ по устранению неисправностей в кладке. Возникающие в опорах мостов дефекты и расстройств можно разделить на следующие виды: разрушение раствора в швах между облицовочными камнями и блоками; повреждения поверхности кладки, подферменных камней, площадок и сливов; трещины; глубинное расстройство кладки, в том числе фундаментов; повреждение обратных стенок устоев и др.

В процессе текущего содержания мостов с целью устранения дефектов в опорах расширяют швы, восстанавливают сливы и штукатурку, выветрившиеся поверхности на небольших участках, заделывают мелкие трещины и раковины.

**Повреждения элементов пролетных строений и мостового полотна и способы их устранения.** Мостовое полотно и плиты в мостах являются важнейшими их элементами, от состояния которых в значительной степени зависит бесперебойность

и безопасность движения с установленными скоростями. Поэтому работы по их ремонту, характер которых определяется его конструкцией, следует считать весьма ответственными. Ремонт плит и элементов мостового полотна производится в основном аналогично ремонту металлических пролетных строений.

На эксплуатируемых мостах нередко возникают дефекты в виде искривления отдельных элементов пролетных строений, вызванные ударами негабаритных грузов и другими причинами. Необходимость ремонта таких пролетных строений (выпрямления или усиления) определяют на основании обследования и расчета. Особенно опасны искривления сжатых элементов. Если стрела искривления превышает  $1/7$  радиуса инерции сечения, то необходимо сделать проверку расчетом. В случае значительного искривления сжатых элементов следует принять меры по неотложному ремонту (усилению). Временное усиление таких элементов можно выполнить деревянными брусками, уложенными на участках искривления и прикрепленными хомутами.

Изогнутые элементы выправляют при помощи домкратов или других приспособлений, как в холодном, так и в подогретом состояниях. При значительных деформациях и низкой пластичности стали в зоне пластических деформаций могут возникнуть трещины. При невозможности обеспечения хорошего качества выправки элементов их заменяют (полностью или частично) или усиливают путем увеличения сечения или уменьшения свободной длины. Поврежденные элементы заменяют по частям или целиком с применением приспособлений, воспринимающих усилие, приходящееся на заменяемый элемент. При этом можно осуществлять регулирование усилий от постоянной нагрузки во вновь поставленном элементе.

Трещины в элементе перекрывают, как правило, накладками на высокопрочных болтах (рис. 10), а у концов трещин предварительно просверливают сквозные отверстия диаметром 14...18 мм с целью снижения концентрации напряжений, являющейся причиной дальнейшего развития трещины. Однако, как показывает опыт эксплуатации мостов, эти отверстия не всегда обеспечивают прекращение развития трещин. Поэтому накладками следует перекрывать не часть сечения элемента, пораженного трещиной, а все его сечение. При возникновении поперечной трещины в сварном элементе накладками нужно перекрывать все его сечение (рис. 10,а), а в составном клепаном – только тот лист или уголок, в котором имеется трещина (рис. 10,б). Перед заваркой кромки трещин разделяют под углом  $60...80^\circ$ . Для заварки трещин применяют полуавтоматическую сварку под слоем флюса или ручную электродами с качественной обмазкой. Значительный объем ремонтных работ связан с заменой дефектных (слабых) заклепок в заклепочных соединениях, а также с заменой и подтяжкой болтов – в болтовых. Вместо дефектных заклепок надлежит, как правило, ставить высокопрочные болты.

При недостаточной грузоподъемности пролетные строения подвергают усилению или заменяют новыми. Решение об усилении или замене пролетных строений принимают на основании технико-экономического анализа. Существенное влияние на выбор решения оказывает общее физическое состояние пролетных строений. В зависимости от типа конструкции, наличия слабых элементов в ней, необходимой степени усиления и местных условий применяют различные способы. Основными приемами усиления металлических пролетных строений являются:

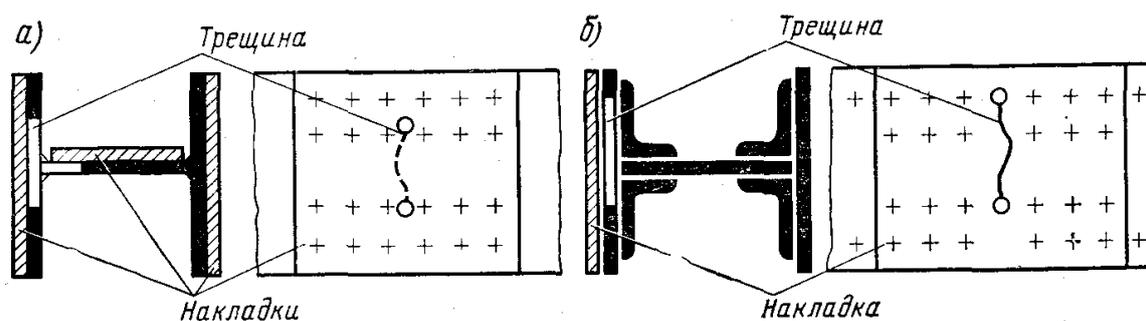


Рис. 10. Перекрытие трещин накладками на высокопрочных болтах:  
*а* – в сварных элементах; *б* – в клепаных

- увеличение поперечного сечения элементов с одновременным усилением крепления (при необходимости); металл усиления размещают симметрично. Этот прием усиления – наиболее распространенный;
- устройство дополнительных ферм или балок;
- постановка новых дополнительных элементов пролетных строений;
- изменение системы ферм или балок – подведение шпренгеля под балку; добавление третьего пояса (арки) к балочным фермам; превращение разрезных балок или ферм в неразрезные; установка дополнительных опор (временных или постоянных), уменьшающих пролет; превращение стального пролетного строения в сталежелезобетонное устройство железобетонной плиты, включенной в совместную работу.

Усиление отдельных элементов пролетного строения добавлением нового металла необходимо при всех перечисленных способах. Класс грузоподъемности по выносливости элементов клепаных пролетных строений можно повысить заменой в креплениях заклепок крайних рядов высокопрочными болтами. При такой замене концентрация напряжений около заклепочных отверстий снижается и замедляется процесс накопления усталостных повреждений. Исследованиями установлено, что замена заклепок двух крайних рядов высокопрочными болтами повышает класс по выносливости (в наиболее слабых по выносливости соединениях) не менее чем на 20%. Для более эффективного использования вновь добавляемого металла иногда применяют предварительное напряжение с регулированием усилий. Усиление пролетных строений можно осуществлять постановкой предварительно напряженных затяжек из сталей повышенной прочности с натяжением их при помощи гаек или домкратов.

Искусственного регулирования усилий в элементах пролетных строений достигают также путем разгрузки (догрузки) при усилении, регулированием величин опорных реакций в неразрезных системах, закреплением элементов усиления в нагретом состоянии и др. Слабые по сечению продольные балки проезжей части усиливают постановкой горизонтальных листов, прикрепляемых к нижним поясным уголкам высокопрочными болтами и заклепками, а к верхним – заклепками (рис. 11, *а*). В продольных балках, не имеющих верхних горизонтальных листов, рекомендуется ставить верхний горизонтальный лист на всей длине балки.

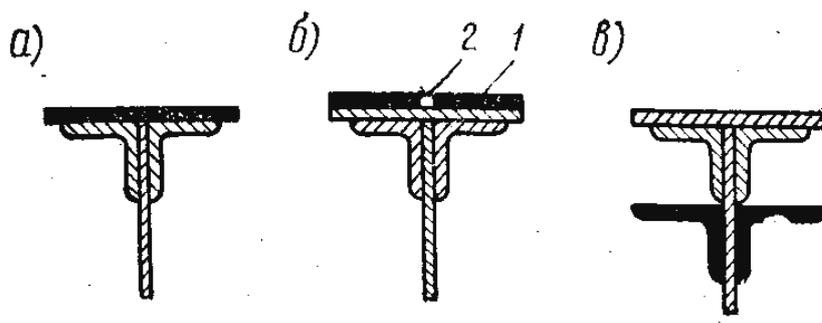


Рис. 11.  
Усиление продольных балок:  
а – сплошным листом;  
б – полулистами;  
в – уголками;  
1 – полулисты;  
2 – шпаклевка

Если ширина полок верхних поясных уголков продольных балок, не имеющих горизонтальных листов, более чем в 8 раз превышает толщину этих уголков, постановка горизонтального листа при усилении является обязательной, даже в случаях достаточной грузоподъемности. Это вызвано тем, что при недостаточной толщине полок поясных уголков в них вследствие больших местных многократно повторяющихся напряжений, создаваемых в результате нажима мостовых брусьев с изгибом полок, возникают трещины и «выколы». Для сравнительно небольшого увеличения грузоподъемности пролетного строения со сплошными главными балками усиление их осуществляют добавлением горизонтальных листов или уголков к поясам, аналогично усилению продольных балок. Для более эффективного использования металла усиления желательно применять регулирование усилий в процессе усиления (разгрузка от собственного веса, создание усилий, противоположных по знаку, и т. п.). Этого достигают устройством временных шпренгелей, опор и т. п.

При необходимости значительного повышения грузоподъемности пролетного строения эффективным является устройство постоянных предварительно напряженных шпренгелей (рис. 12). Этот способ особенно выгоден тем, что работы по усилению можно свободно выполнять без перерыва движения поездов. При усилении предварительно напряженными шпренгелями используют высокопрочную сталь в виде стержней круглого сечения и других прокатных профилей, тросов и пучков из высокопрочной проволоки. При усилении сквозных главных ферм применяют: увеличение сечений элементов, изменение системы ферм и искусственное регулирование усилий в элементах ферм с применением предварительного напряжения. В последнем случае может быть достигнута наибольшая эффективность усиления главных ферм в целом. Схемы и методы усиления выбирают на основании анализа состояния конструкции, ее деформативности и грузоподъемности отдельных элементов.

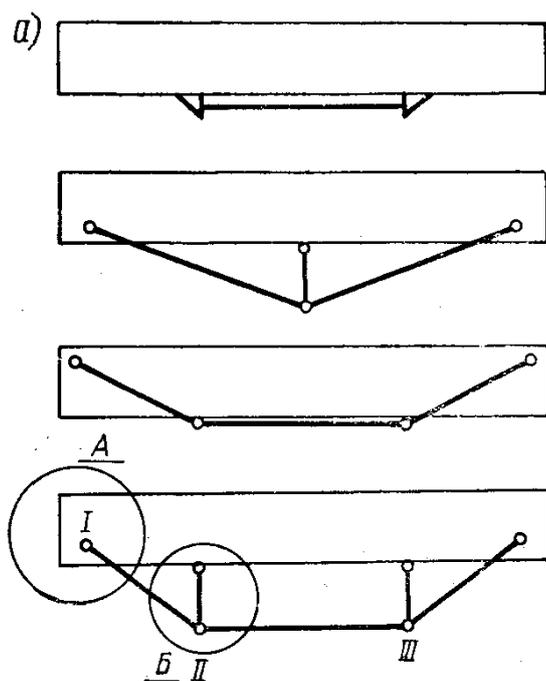


Рис. 12. Схемы  
усиления предвари-  
тельно напряженными  
шпренгелями

Некоторые способы усиления сквозных главных ферм с изменением их статической схемы представлены на рис. 13. Для усиления поясов главных ферм используют предварительно напряженные затяжки из высокопрочной стали (рис. 13, а, б). Затяжки целесообразно делать из стержней круглого сечения. В этом случае предварительное напряжение создают при помощи гаек, навинчиваемых на концы стержней затяжек, с передачей усилия на упоры. Натяжение контролируют по моменту закручивания гаек. Устройство шпренгелей (рис. 13, в, д) и третьего пояса (рис. 13, з) позволяет разгрузить элементы главных ферм пояса и повысить вертикальную жесткость. При этом способе для повышения общей эффективности усиления одновременно с изменением системы главных ферм целесообразно применять предварительное напряжение. Следует отметить, что постановка третьего пояса по схеме, показанной на рис. 13, з, почти не разгружает раскосы ферм в ее средней части, а поэтому иногда прибегают к усилению этих раскосов путем увеличения их сечений. При определенных условиях с целью усиления целесообразно разрезные пролетные строения объединять в неразрезные (рис. 13, е) или ставить дополнительную опору (рис. 13, ж). Регулирование усилий может быть осуществлено поддомкрачиванием опорных узлов.

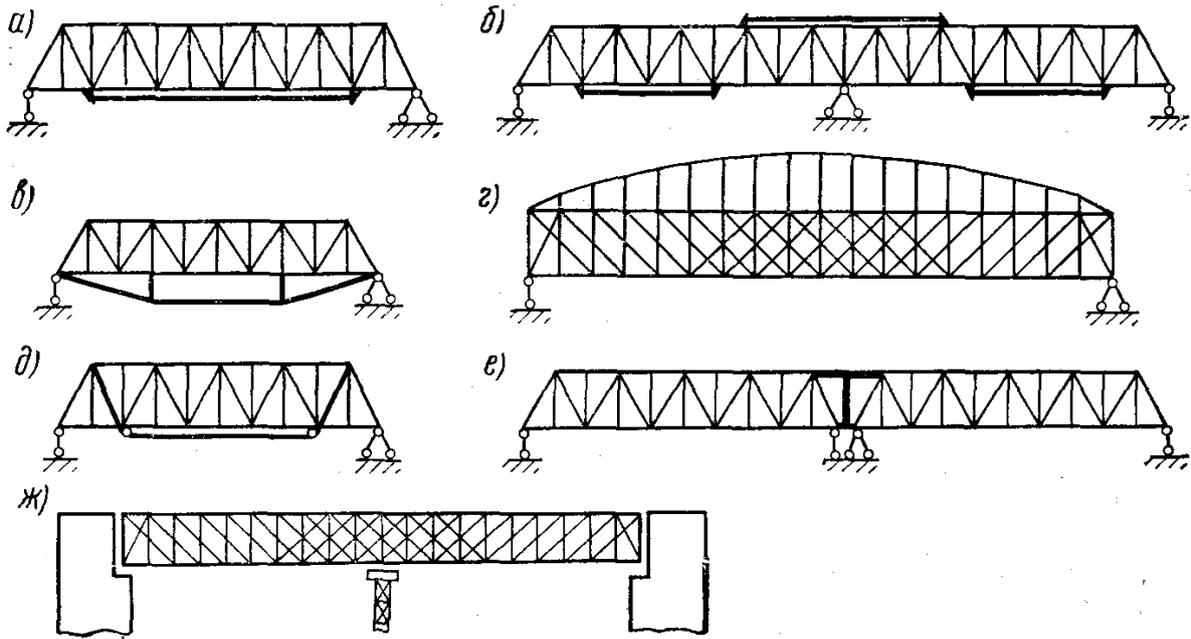


Рис. 13. Способы усиления главных ферм с изменением статической схемы:  
*а* и *б* – с использованием предварительно напряженных затяжек; *в* и *д* – с устройством шпренгелей; *г* – с устройством третьего пояса; *е* – объединением разрезных в неразрезные; *ж* – подведением дополнительной опоры

Изменение системы главных ферм почти всегда сопровождается усилением отдельных элементов ферм и их креплений. Наиболее распространенный способ усиления главных ферм – увеличение площадей сечения отдельных элементов креплений. Увеличения площадей сечения элементов достигают добавлением нового металла, соединяя его со старым, как заклепками, так и высокопрочными болтами. При проектировании усиления надо стремиться к тому, чтобы не создавать дополнительных эксцентриситетов ни в сечениях, ни в креплениях, если это не связано с преднамеренным регулированием напряжений. При этом желательно обеспечить минимальную расклепку усиливаемых элементов.

Усиление поясов главных ферм таврового или коробчатого сечения добавлением новых горизонтальных листов полной ширины вызывает сплошную переклепку горизонтальных пакетов. Во избежание этого новый металл следует добавлять отдельными узкими полосами (рис. 14,*а*) подобно тому, как это делают при усилении балок со сплошной стенкой.

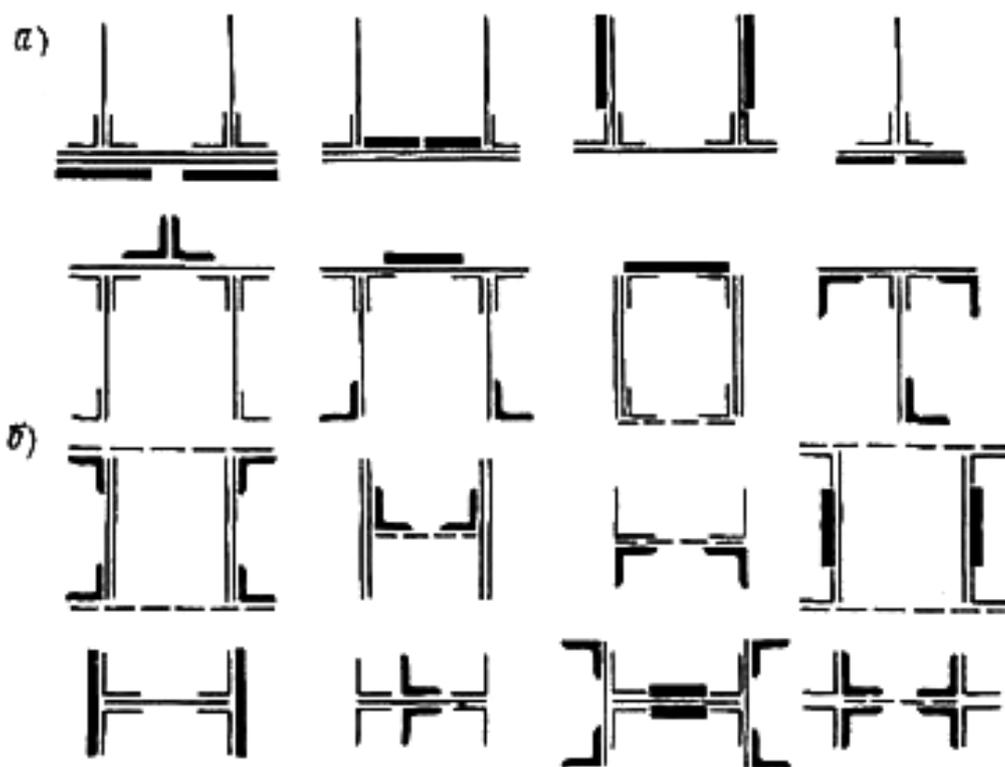


Рис. 14. Схемы усиления сечений элементов сквозных ферм: а – поясов; б – раскосов, стоек и подвесок

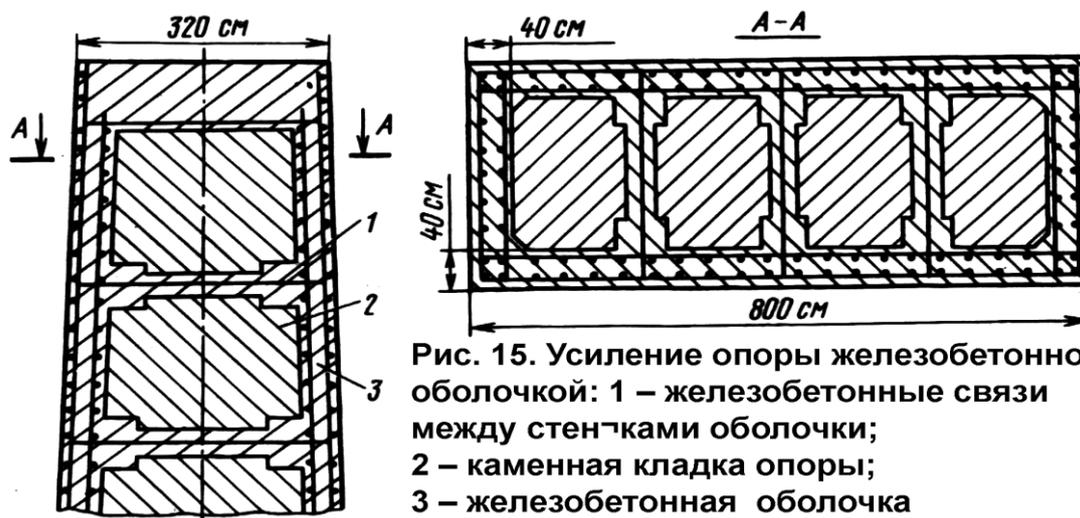
При этом желательно, чтобы полосы прикрепляли двумя рядами заклепок или высокопрочных болтов. При неизбежности размещения заклепок (болтов) в один ряд предпочтительно применять узкие, но более толстые полосы. Длину полосы следует принимать такой, чтобы ее можно было поставить и взять на болты и пробки в промежутке между поездами. Головки старых заклепок на усиляемом участке необходимо предварительно удалить, оставив их стержни в отверстиях. Стыки полос надлежит перекрывать накладками. Вместо полос можно использовать уголки. Добавление вертикальных листов для усиления поясов обычно сопряжено с трудностями конструирования и выполнения работ, поскольку вызывает необходимость переклепки прикреплений элементов в узлах ферм. Для уменьшения работ по расклепке вертикальные листы усиления следует располагать вплотную к поясным уголкам на той стороне старых вертикальных листов, к которой не прикреплены раскосы или фасонки (см. рис. 14,а). Способы увеличения площади поперечного сечения раскосов и стоек определяются типом усиливаемых элементов и приведены на рис. 14,б.

**Ремонт и усиление опор.** Обеспечение надежности и долговечности опор мостов требует периодического проведения работ по устранению неисправностей в кладке. Возникающие в опорах мостов дефекты и расстройств можно разделить на следующие виды: разрушение раствора в швах между облицовочными камнями и блоками; повреждения поверхности кладки, подферменных камней, площадок и сливов; трещины; глубинное расстройство кладки, в том числе фундаментов; повреждение обратных стенок устоев и др.

В процессе текущего содержания мостов с целью устранения дефектов в опорах расширяют швы, восстанавливают сливы и штукатурку, выветрившиеся поверхности на небольших участках, заделывают мелкие трещины и раковины. К усилению опор и

фундаментов прибегают при значительных расстройках кладки, когда мерами капитального ремонта невозможно восстановить их прочность. Основанием для усиления может явиться также недостаточная несущая способность тела опоры, фундамента в связи с изменением условий эксплуатации моста. При недостаточной несущей способности грунтов оснований, а также при развитии недопустимых деформаций опор в виде осадок, сдвигов и кренов может оказаться эффективным укрепление грунтов (цементация, глинизация, химическое).

Тело опор обычно усиливают железобетонными оболочками (рубашками) достаточных размеров для того, чтобы на нее передать всю или значительную часть нагрузки. Для включения оболочки в работу верхнюю часть опоры переделывают, устраивая вместо старой подферменной площадки новую, в виде мощной железобетонной плиты, опертой на оболочку. В качестве примера на рис. 15 представлена конструкция железобетонной оболочки, примененной для усиления опоры виадука из бутовой кладки. Расчет усиления опоры выполнен в предположении, что все внешние нагрузки (опорные давления пролетных строений, тормозные силы, (давление ветра) воспринимаются только оболочкой. Связь оболочки со старой кладкой обеспечена посредством анкеров и тяжей. Оболочки армированы двумя сетками из стержней диаметром 14 мм (вертикальные) и 10 мм (горизонтальные). Опоры старых мостов, как правило, имеют сплошное сечение на полную высоту. В связи с этим в некоторых случаях, особенно при большой высоте опор, их грузоподъемность может быть повышена за счет замены массивной верхней части (выше горизонта высокой воды), более легкой конструкцией, например рамной, столбчатой и т. п. Одним из сложных и ответственных видов работ на эксплуатируемых мостах является усиление фундаментов опор. Сложность и ответственность этих работ определяются, прежде всего, ограниченностью в выборе конструктивных решений и способов работ, а также необходимостью обеспечения надежной совместной работы старой и добавляемой части фундамента.



При устойчивых грунтах фундаменты опор на естественном основании могут быть усилены путем их уширения (рис. 16). В таких случаях под защитой водонепроницаемого ограждения (шпунтовое, железобетонное или металлическое шандрное) откачивают воду и выбирают грунт между фундаментом и ограждением. Затем в опалубке бетонируют мощные упоры – консоли, соединяя их со старой кладкой фундамента при помощи штраб и анкеров.

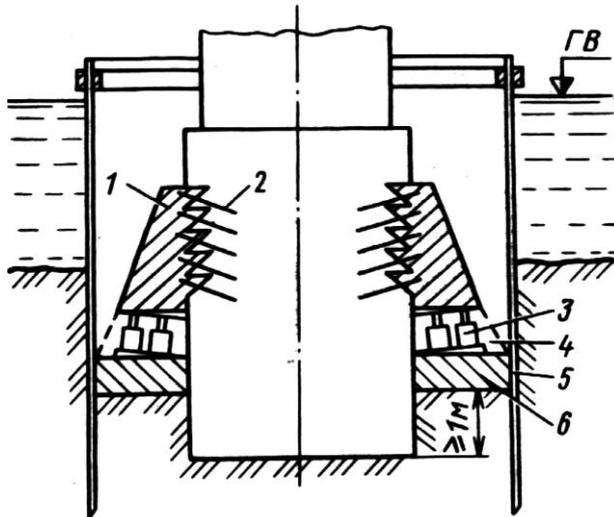


Рис. 16. Усиление фундамента путем его уширения:  
 1 – железобетонные консоли;  
 2 – бетонная плита;  
 3 – домкраты; 4 – участок, бетонированный после обжатия грунта под плитой; 5 – шпунтовое ограждение; 6 – стальные анкеры

Если упорная подушка не сооружена сразу после выборки грунта, то ее бетонируют после устройства консолей. Чтобы при удалении грунта не повредить подошву старого фундамента, подошву пристраиваемой части располагают выше существующей на 1...1,5 м. Для включения в работу новой части фундамента между консолями и упорной плитой ставят домкраты и обжимают грунт под плитой до необходимой величины, после чего между ними ставят распорки, а домкраты убирают. Пространство между плитой и консолями бетонируют.

Несущая способность свайных фундаментов может быть увеличена добавлением новых свай – забивных, буровых и др. Предпочтение следует отдавать буровым, так как их возведение не вызывает расстройств в усиливаемой опоре и ее фундаменте. Необходимость усиления фундаментов устоев возникает достаточно часто из-за их деформации под воздействием давления насыпи, оползневых явлений и т. п. Уменьшение горизонтального давления насыпи на устой может быть достигнуто заменой грунта насыпи крупнозернистым грунтом с большим значением угла внутреннего трения или сухой кладкой из камня кирпича и др. (рис. 17,а). В мостах с небольшими пролетными строениями смещение устоев предотвращают укладкой между их фундаментами распорных перемычек (рис. 17,б). Для повышения устойчивости обсыпных устоев со стороны пролетного строения устраивают контрфорсы (рис. 17,в) или устанавливают железобетонные распорки с упором (рис. 17,г). Подобные решения применяют и для усиления устоев в арочных мостах. В тех случаях, когда деформации устоев вызываются оползневыми явлениями или неудовлетворительным состоянием грунтов в основании, может оказаться целесообразной постройка нового устоя с добавлением пролета, перекрывающего неустойчивый участок берегового склона. При определенных условиях усиления опор по прочности и устойчивости оснований достигают укреплением грунтов.

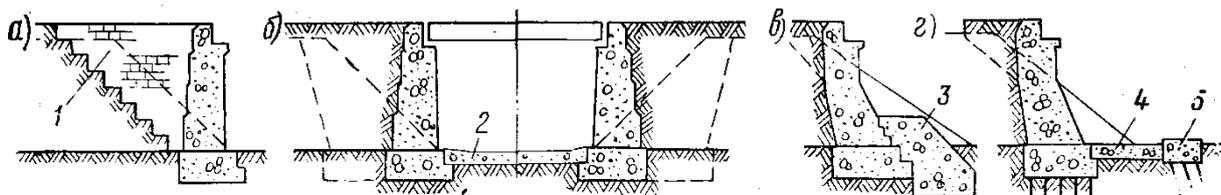


Рис. 17. Схемы усиления устоев: а – замена грунта за устоем сухой кладкой; б – распорной перемычкой между фундаментами устоев (в местах малой длины); в – устройством контрфорса; г – железобетонной распоркой с упором;

1 – кладка; 2 – перемычка; 3 – контрфорс; 4 – распорка; 5 – упор

## 2. Реконструкция и замена несущих конструкций искусственных сооружений

**Замена пролетных строений.** Металлические пролетные строения малых длин, как правило, заменяют при помощи стреловых, шлюзовых, консольных и консольно-балочных кранов под прикрытием «окна» в движении поездов. При этом консольным краном ГЭПК–130–17,5 можно заменять пролетные строения с ездой понизу длиной до 45 м. Продолжительность «окна» составляет 6...8 ч. Минимальной продолжительности «окна» достигают в тех случаях, когда новое пролетное строение заблаговременно доставлено к мосту и установлено в положение, удобное для взятия краном.

Для замены металлических пролетных строений длиной до 25 м специально разработан консольно-балочный кран, состоящий из несущей балки, ходовых тележек и подъемных лебедок. Передвигают кран локомотивом. При замене пролетных строений консольно-балочным краном работы выполняют в такой последовательности (рис. 18). На ближайшем к мосту отдельном пункте или непосредственно у моста поперечной передвижкой подводят под кран новое пролетное строение. С устанавливаемым пролетным строением кран заводят на мост и снимают заменяемое пролетное строение (положение I). Затем кран передвигают в положение II, устанавливают новое пролетное строение и после восстановления пути кран со снятым пролетным строением уводят на ближайший отдельный пункт или разгружают пролетное строение вблизи моста на ось пути, а оттуда сдвигают на подготовленные заранее подмости. Освободившийся кран в такой же последовательности используют для замены второго пролетного строения и т. д.

При замене пролетных строений консольными кранами следует иметь в виду, что консольный кран из-за недостаточного вылета стрелы не может застропить по центру тяжести пролетные строения длиной 45 м. Чтобы исключить перекося пролетного строения при подъеме, следует на коротком его конце укладывать пригруз. Величину пригруза определяют по фактическому весу пролетного строения и эксцентриситету строповки.

Пролетные строения длиной свыше 45 м заменяют поперечной передвижкой или с использованием плавучих средств. Приемы ведения работ указанными способами, а также применяемое при этом оборудование изучают в курсе «Организация и планирование строительства мостов». Однако требование минимального ограничения движения поездов при реконструкции мостов вносит свои особенности в эти способы замены пролетных строений.

Так, при замене пролетных строений поперечной передвижкой (рис. 19) в каждом пролете с верхней и нижней сторон сооружают подмости для сборки нового и разборки старого пролетного строения, а также устройства для их передвижки. При замене же пролетных строений при помощи плавучих средств устраивают самостоятельные пирсы для сборки новых и разборки старых пролетных строений, а также используют два комплекта плавучих средств – один для снятия, а другой для установки пролетных строений.

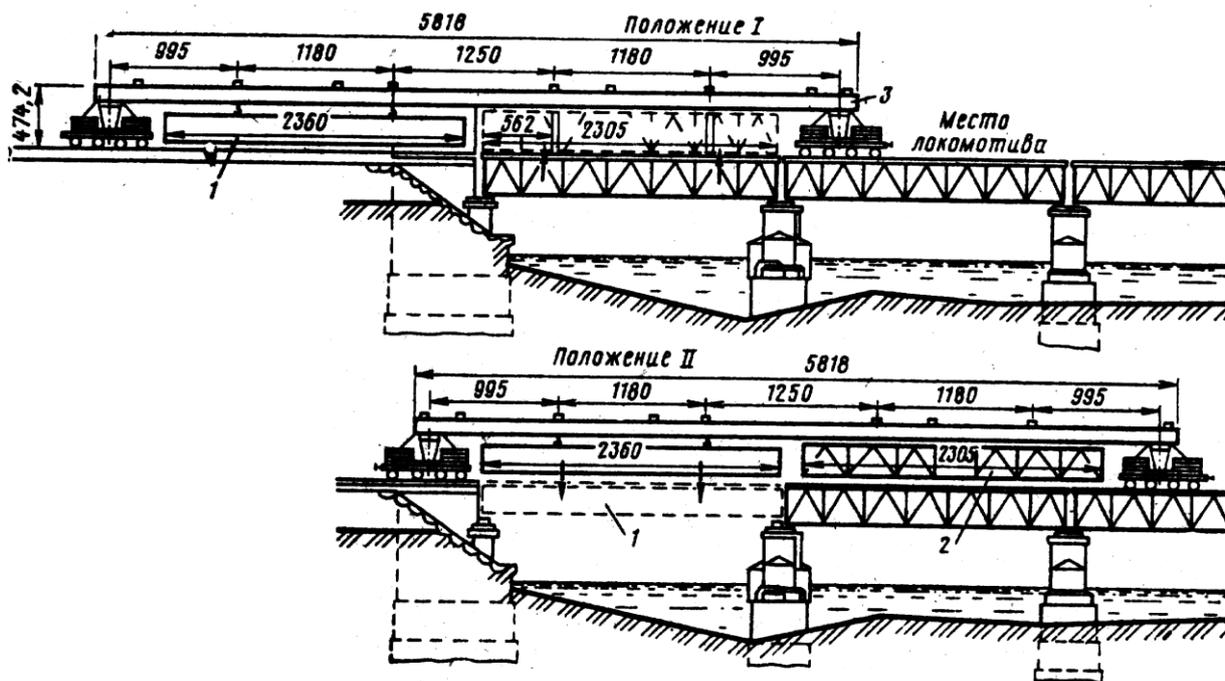


Рис. 18. Схема замены пролетных строений консольно-балочным краном:  
 1 – новое пролетное строение; 2 – снятое пролетное строение; 3 – консольно-балочный кран

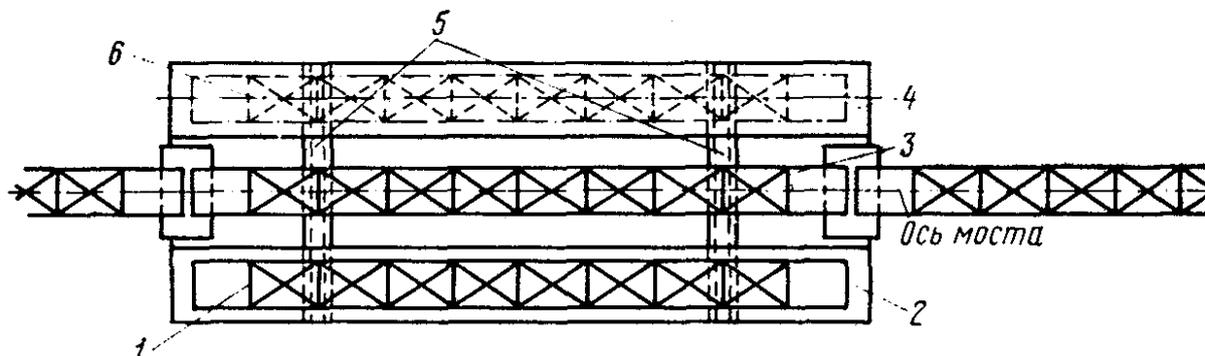


Рис. 19. Схема поперечной передвижки при замене пролетных строений:  
 1 – новое пролетное строение; 2 – подмости для сборки нового пролетного строения; 3 – старое пролетное строение; 4 – подмости для разборки старого пролетного строения;  
 5 – подмости (пирсы) для поперечной передвижки;  
 6 – старое пролетное строение после передвижки

Способ замены пролетных строений выбирают на основании технико-экономического анализа с учетом директивного срока реконструкции моста, а при замене пролетных строений в судоходных пролетах, кроме того, и требований судоходства.

Замена пролетных строений поперечной передвижкой может быть осуществлена в любое время года и практически при любых местных условиях. В то же время замена пролетных строений с использованием плавучих средств ограничена по времени года и в целом ряде случаев невозможна из-за недостаточных глубин реки. При технико-экономической оценке способов замены пролетных строений в первом приближении можно считать, что замена с использованием плавучих средств выгоднее замены

поперечной передвижкой при четырех пролетах и более.

**Увеличение числа путей на мосту.** Увеличение числа путей на эксплуатируемых мостах, необходимость в котором встречается достаточно часто, достигают установкой новых пролетных строений рядом с существующими на опоры, сооружаемые на самостоятельных основаниях или на старых фундаментах, например при наличии пологих ледорезов (рис. 20). На многих мостах ранних лет постройки, промежуточные опоры которых имеют пологие ледорезы на развитых фундаментах, для пролетных строений под второй путь опоры сооружают на старом фундаменте (рис. 20,а), предварительно полностью или частично разобрав кладку ледорезов. Тело пристраиваемой опоры выполняют из монолитного бетона, а подферменную площадку из железобетона. При таком переустройстве опор особо следует обращать внимание на обеспечение качественной связи новой и старой кладки. Для соединения новой кладки со старой устраивают штрабы, металлические анкеры из рельсов, арматурных стержней и т. п.

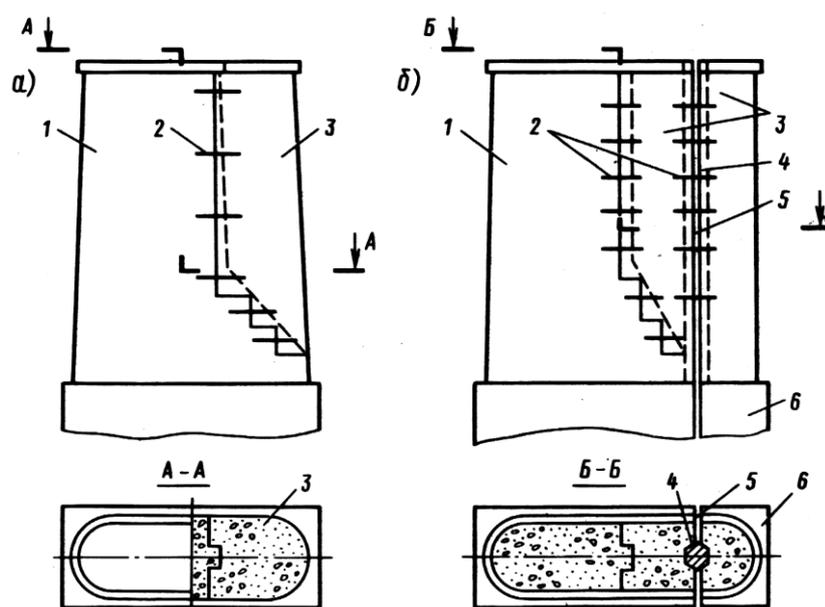


Рис. 20.

Схемы уширения речных опор: а – на общем фундаменте; б – на отдельных фундаментах: 1 – старая кладка; 2 – анкеры (рельсы); 3 – новая кладка; 4 – бетонная шпонка; 5 – сквозной деформационный шов; 6 – пристроенная часть фундамента; 7 – гибкие анкеры

Речные опоры в старых мостах выполняли в массивной каменной облицовке, которую при переустройстве опор рассматриваемым способом приходится частично разбирать. Нередко пристраиваемую часть опоры сооружают в массивной облицовке, оформляя ледорезную грань по действующим ТУ. При отсутствии ледорезов или недостаточности их размеров опоры под пролетные строения второго пути сооружают на самостоятельных фундаментах. С целью упрощения конструкции опор и уменьшения объемов подходов насыпей новые опоры целесообразно возводить с нижней стороны от существующего моста. При такой реконструкции под второй путь по существу строится новый мост рядом со старым.

В случае, если опоры под пролетные строения второго пути приходится сооружать с верхней стороны существующего моста с ограниченными размерами ледорезов, то часть пристраиваемой опоры располагают на старом, а часть на новом фундаменте (рис. 20,б). При этом новую кладку опоры, располагаемую на существующем фундаменте или ледорезе, объединяют со старой способами, указанными выше. Для обеспечения свободной осадки части опоры, располагаемой на новом фундаменте, рекомендуется оставлять сквозной вертикальный шов и заделывать его после сооружения опоры и установки новых пролетных строений. В вертикальном шве целесообразно устраивать бетонную или железобетонную шпонки, выступ-упор, позволяющие передавать горизонтальные силы (тормозные, ветровые) на всю опору

(см. рис. 20,б). В малых и средних мостах при установке пролетных строений под второй путь в большинстве случаев сохраняют существующую разбивку на пролеты.

В мостах через судоходные реки разбивку на пролеты в судоходной части моста также сохраняют прежней, а на остальных участках моста либо сохраняют, либо изменяют, соорудив в несудоходных пролетах дополнительно опоры под новые пролетные строения меньших длин. В этом случае в несудоходных пролетах следует рассмотреть целесообразность применения пролетных строений с ездой поверху. На рис. 21 приведена схема переустройства однопутного моста в двухпутный с уменьшенными пролетами в несудоходной части реки. В этой схеме в судоходной части моста под второй путь использованы пролетные строения, снятые с поименных участков реки. Использование старых пролетных строений для перекрытия судоходных пролетов при переустройстве моста на двухпутный не следует рассматривать как типовое решение. Скорее это исключительный случай, который надо иметь в виду при хорошем физическом состоянии и достаточной на перспективу грузоподъемности пролетных строений.

Как правило, при переустройстве мостов на двухпутные применяют новые пролетные строения. Более того, прежде чем приступить к такой

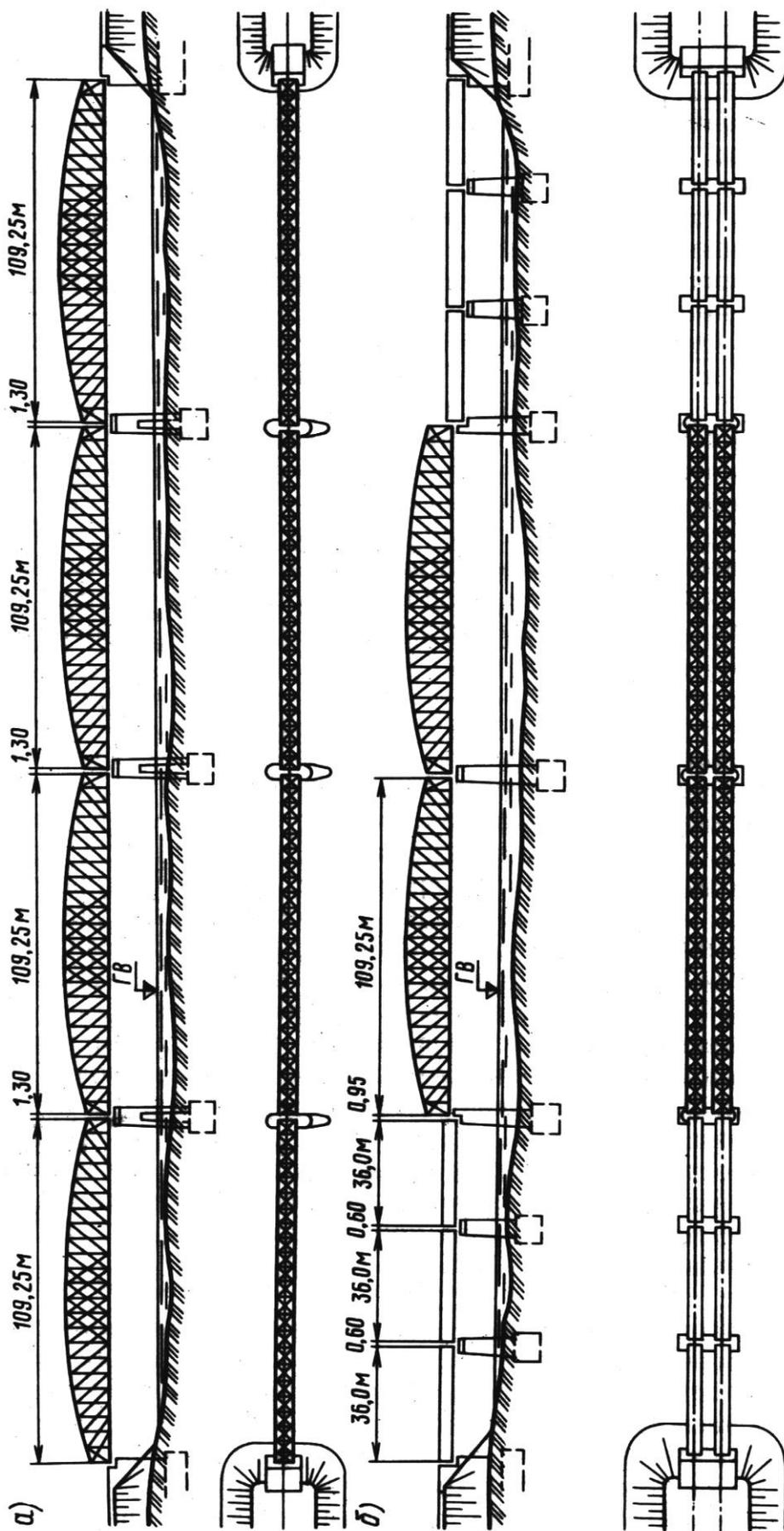


Рис. 21. Схема переустройства однопутного моста в двухпутный: а – мост до реконструкции; б – мост после реконструкции

реконструкции моста, следует решить вопрос о достаточности грузоподъемности

пролетных строений по старому пути с учетом их физического состояния. При переустройстве опор возникает необходимость в их ремонте и усилении. Способы ремонта и усиления опор мостов рассмотрены выше, однако при реконструкции мостов следует иметь в виду некоторые моменты в части последовательности выполнения работ.

Так, если старые пролетные строения заменяют новыми, то целесообразно старую и новую части опоры (при общем фундаменте) объединить общей железобетонной подферменной плитой. Подферменные плиты под пролетные строения каждого пути бетонируют до установки пролетных строений, а затем омоноличивают их стык. В случаях, когда требуется частичное или полное переустройство тела старой опоры, ее разгружают от пролетных строений, подводя под них временные опоры; при этом заново сооружаемую часть опоры выполняют из монолитного бетона. На многих мостах ранних лет постройки обреза фундамента располагали в уровне горизонтов межженных вод, осеннего ледохода и ледостава, что со временем привело к расстройству кладки фундаментов в этих уровнях. Поэтому перед сооружением опор под второй путь на общих фундаментах следует освидетельствовать состояние их обреза и при необходимости усилить. В тех случаях, когда производится частичная разборка старой опоры, необходимо тщательно освидетельствовать состояние ее кладки и выбрать эффективный способ усиления.

Для возведения устоев под пролетные строения второго пути удаляют часть насыпи, достаточную для сооружения нового устоя. Чтобы обеспечить устойчивость насыпи, применяют крепление закладное деревянное (рис. 22,а) или забивное в виде шпунтовой стенки (рис. 22,б).

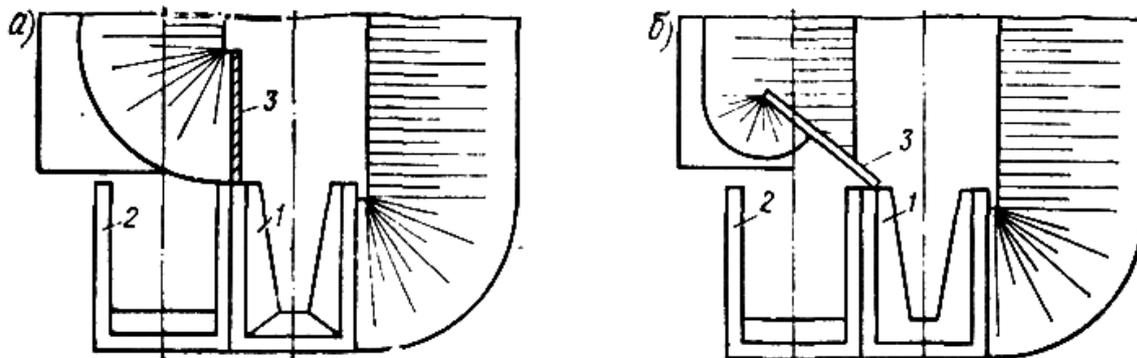


Рис. 22. Схемы возведения устоев под пролетные строения второго пути:  
 а – с применением закладного крепления; б – с применением шпунтовой стенки;  
 1 – старый устой; 2 – пристраиваемая часть устоя;  
 3 – закладное или забивное крепление

При выборке насыпи на глубину до 4 м обычно используют закладное крепление, состоящее из деревянных свай, за которые по мере удаления грунта закладывают горизонтальные доски, бруски. При выборке насыпи на глубину более 4 м устраивают деревянную или шпунтовую стенку.

В некоторых случаях в теле старых насыпей новые устои сооружают с применением свай или свай-оболочек, образующих фундамент типа высокого ростверка. Такое решение позволяет избежать специального укрепления насыпи ввиду небольшой высоты ее срезки, определяемой размерами той части устоя, которая будет объединять сваи. Участок насыпи, удаленный для строительства нового устоя,

перекрывают разгрузочным пакетом необходимой длины, опирая его одним концом на старый устой, а другим на клетку из шпал, а также из металлических или железобетонных балок (рис. 23).

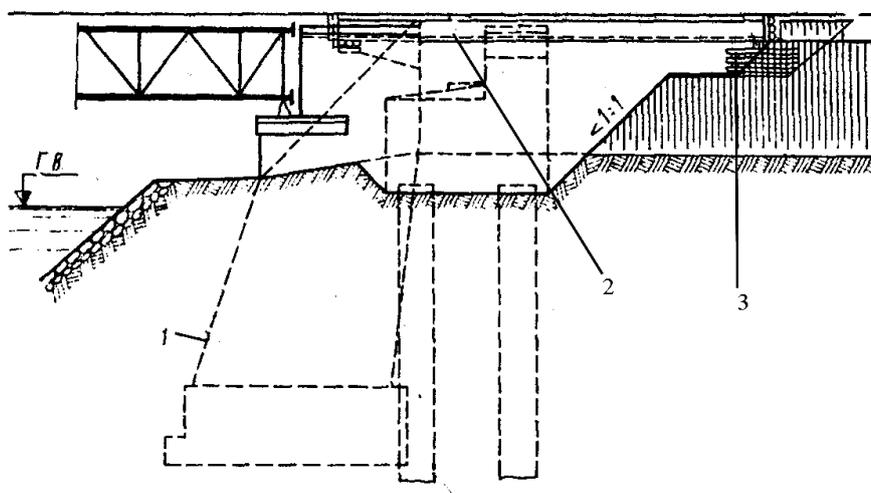


Рис. 23. Устройство устоя под второй путь с применением разгрузочного пакета:  
1 – существующий устой; 2 – разгрузочный пакет; 3 – опорные брусья

**Реконструкция мостов в связи с изменением подмостового габарита.** При реконструкции мостов в связи с увеличением подмостовых судоходных габаритов производят подъемку пролетных строений и замену их на новые большей длины. Следует заметить, что реконструкция моста с увеличением размеров судоходных пролетов представляет собой достаточно сложный комплекс работ и производят ее только в крайних случаях. Для пояснения некоторых особенностей этих работ на мостах рассмотрим пример реконструкции 7-пролетного металлического моста с пролетными строениями длиной 87,6 м (рис. 24,а). По условиям судоходства требуется в средней части моста иметь два судоходных пролета, при этом пролет для низового движения судов должен быть не менее 120 м. Для того чтобы не затрагивать пролеты на несудоходных участках реки, напрашивается решение – вместо трех пролетных строений по 87,6 м в средней части моста поставить неразрезное пролетное строение длиной 2 x 132 м (рис. 24,б), возведя новую опору в пролете 3 – 4. Порядок реконструкции моста достаточно ясен, а поэтому рассмотрим лишь одну особенность, связанную со строительством новой опоры. Возведение этой опоры должно быть закончено к началу замены пролетных строений поперечной передвижкой. Существующее пролетное строение 3 – 4 будет ограничивать, если не исключать полностью, ведение работ на опоре, и особенно на фундаменте по оси моста. Поэтому конструкция фундамента и опоры в значительной части будет определяться условиями ведения работ. В рассматриваемом случае фундамент опоры может быть представлен состоящим из двух кустов свай-оболочек, объединенных поверху мощным железобетонным ростверком-ригелем, на котором затем будет сооружена опора. Расстояние между кустами свай-оболочек назначают с учетом возможности их погружения по обе стороны пролетного строения 3 – 4.

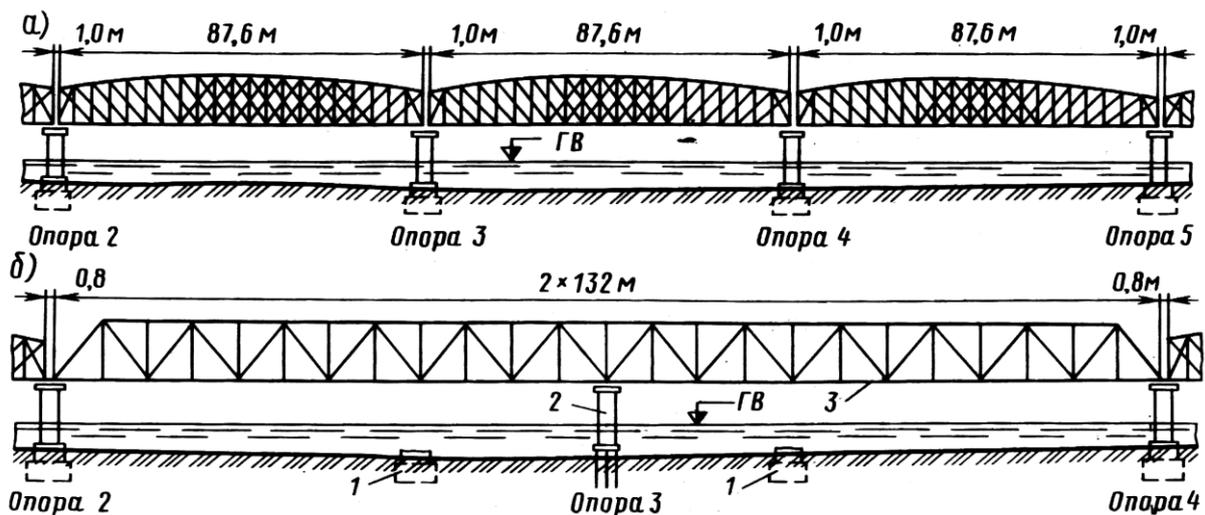


Рис. 24. Реконструкция моста с увеличением судоходных пролетов: а – мост до реконструкции; б – мост после реконструкции; 1 – фундаменты разобранных опор; 2 – новая опора

После завершения строительства опоры можно приступить к поперечной передвижке пролетных строений длиной 87,6 м, а затем на их место надвинуть новое пролетное строение. Разборку опор № 3 и 4 можно начать сразу же после освобождения их от пролетных строений.

Новые пролетные строения опирают на вновь сооруженную опору и на старые, при этом нагрузки на старые опоры (в нашем примере опоры 2 и 4) заметно возрастают. В этих случаях необходимо исследовать возможность использования существующих опор под новые пролетные строения больших длин.

При необходимости увеличения высоты судоходного габарита производят подъемку пролетных строений и наращивание опор (рис. 25). В связи с изменением отметки проезда на мосту одновременно осуществляют и подъемку пути на подходах. Возможность увеличения высоты опор в каждом конкретном случае должна быть обоснована.

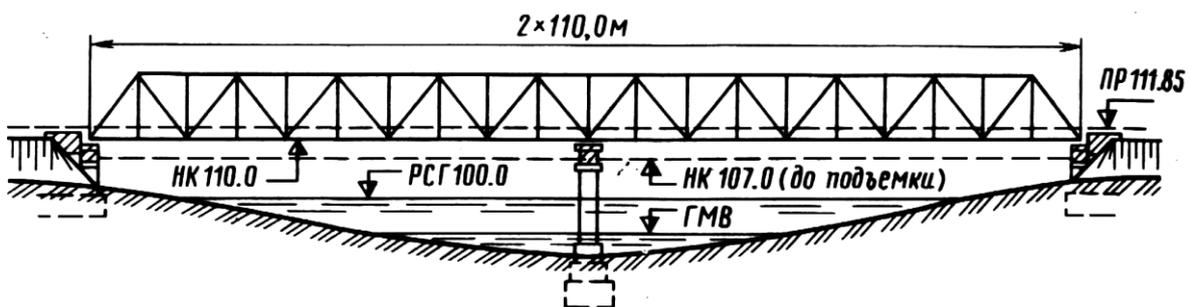


Рис. 25. Увеличение высоты подмостового габарита подъемкой пролетных строений (надстраиваемые участки опор заштрихованы)

Подъемку пролетных строений производят в «окно» в движении поездов, продолжительность которого определяют с учетом времени, необходимого на один цикл подъемки всех пролетных строений и пути на подходах к мосту. За один цикл (прием) обычно осуществляют подъемку до 15 см. После завершения каждого цикла подъемки открывают движение поездов по мосту и ведут подготовку к следующей

подъемке. В большинстве случаев пролетные строения поднимают гидравлическими домкратами, установленными под опорные поперечные балки или опорные узлы ферм, и опирают на металлические или железобетонные клетки, впоследствии заменяемые металлическими стойками в виде коротких колонн.

После подъема пролетных строений до необходимой отметки бетонируют верх опор с завершением их подферменными плитами. В некоторых случаях когда, например, состояние кладки опоры, подферменной площадки хорошее, для опирания поднятых пролетных строений устраивают железобетонные стойки, на которые устанавливают опорные части. Возможно и такое решение, когда с целью усиления верха опоры надстраиваемую часть на высоту до 1 м выполняют в виде плиты по всей площади опоры, а оставшуюся заканчивают стойками.

В устоях подлежат переустройству подферменные площадки, передние и боковые стенки. При подъеме пролетных строений на значительную высоту (до 2 м и более) может потребоваться частичная перекладка тела устоя. Работы по переустройству устоев выполняют с применением разгрузочных пакетов. В мостах с пролетными строениями с ездой поверху (рис. 26,а) увеличение высоты подмостового габарита может быть достигнуто заменой одного или двух пролетных строений новыми с ездой понизу (рис. 26,б). Когда, помимо увеличения высоты подмостового габарита, требуется увеличить и его ширину, замена двух пролетных строений с ездой поверху одним с ездой понизу может оказаться наиболее целесообразным решением (рис. 26,в).

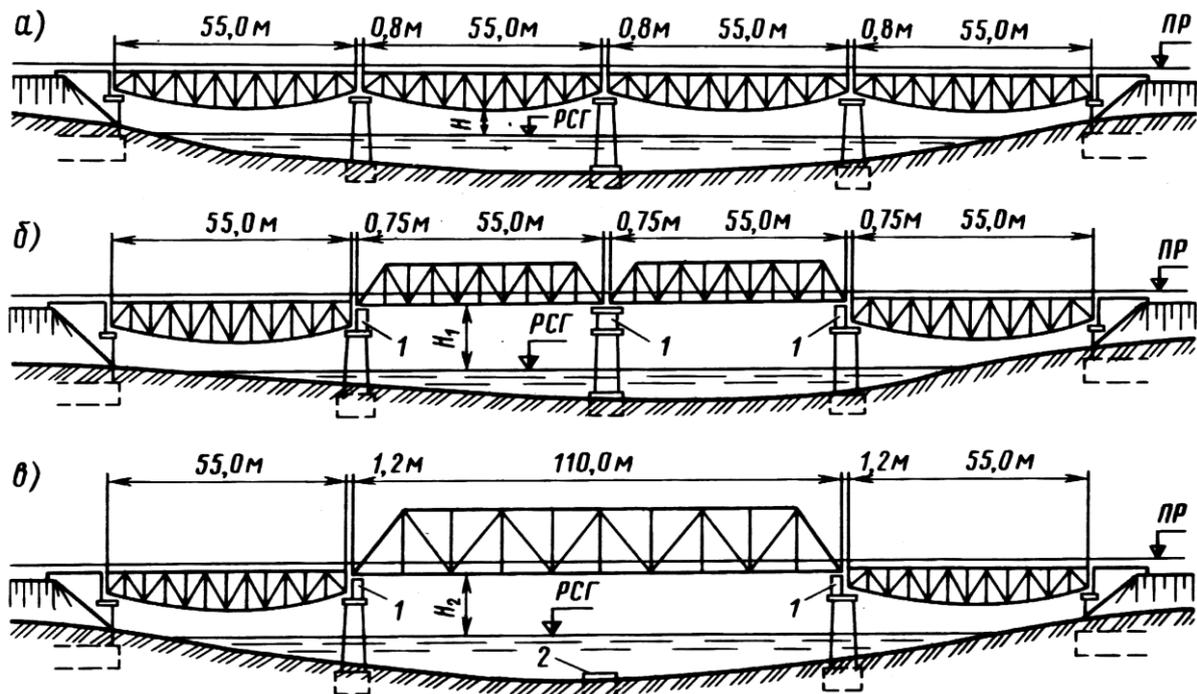


Рис. 26. Реконструкция моста с увеличением судоходного габарита: а – мост до реконструкции; б – увеличение высоты судоходного габарита; в – увеличение высоты и ширины судоходного габарита; 1 – надстраиваемые участки опор; 2 – фундамент разобранной опоры,  $H_1$ ,  $H_2$  – высота подмостового габарита соответственно до и после реконструкции

В случае расположения моста на однопутном участке железной дороги имеется возможность применить типовые пролетные строения с ездой понизу, но при этом придется выполнить уширение и надстройку некоторых опор. Если же мост

двухпутный с пролетными строениями на общих опорах, то новые пролетные строения с ездой понизу будут индивидуальной проектировки под два пути. Массовыми работами на малых мостах является переустройство их при подъемке пути. Так, на железобетонных мостах при хорошем их состоянии подъемку пути осуществляют увеличением толщины балластного слоя (до 60 см под шпалой) с наращиванием бортов пролетных строений (рис. 27) и боковых стенок устоев. Борта пролетных строений допускается наращивать не более чем на 30 см. Боковые стенки устоев наращивают либо увеличением высоты кордонных камней (рис. 28), либо бетонированием бортов на необходимую высоту.

Если при подъемке пути на малых металлических, а также на железобетонных мостах не допускается увеличение толщины балластного слоя, то подъемку пролетных строений выполняют наращиванием подферменных площадок, шкафных и боковых стенок устоев.

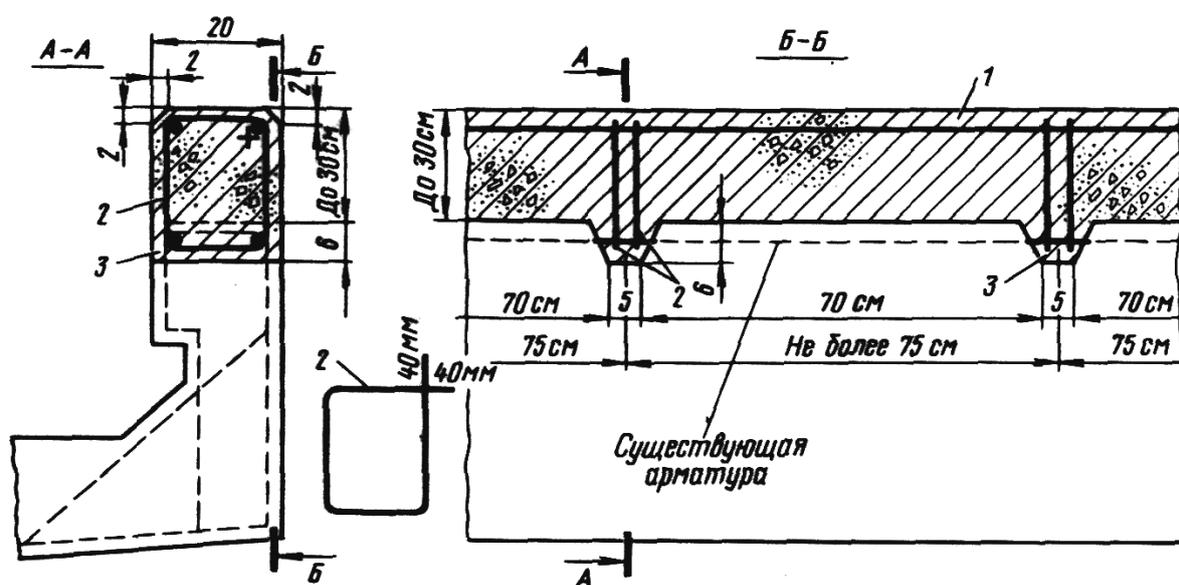


Рис. 27. Наращивание бортов пролетного строения бетонированием:  
1 – продольная арматура диаметром 8 мм, 2 – хомут; 3 – поперечные углубления в местах установки хомутов

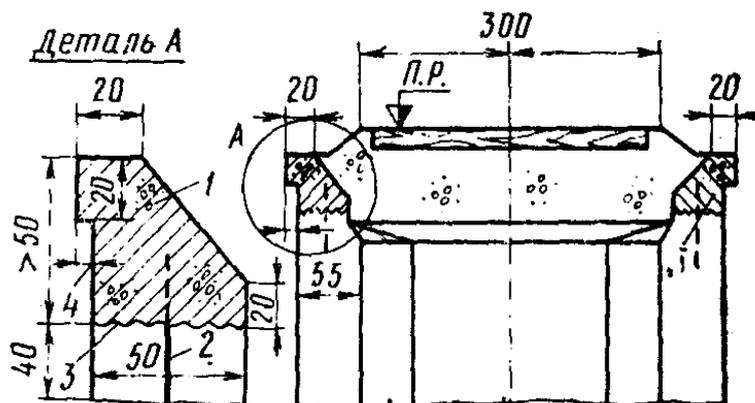


Рис. 28.  
Переустройство кордонных камней устоев: – бетон;  
2 – штырь;  
3 – насечка;  
4 – новый кордон

При наращивании подферменных площадок (рис. 29) существующие подферменные камни убирают, а вместо них устанавливают новые, заранее заготовленные необходимой высоты железобетонные блоки.

Подъемку пролетного строения, удаление старых и установку новых блоков производят в «окно» между поездами. Новые блоки устанавливают на быстротвердеющий цементный раствор. После установки блоков пролетное строение ставят на опорные части и открывают движение поездов. При подъемке пути на высоту более 20 см рекомендуется обетонировать подферменную площадку с установкой арматурного каркаса, прикрепляемого штырями к шкафной стенке устоя (см. рис. 29).

Шкафные стенки (рис. 30) устоев наращивают бетонированием их на необходимую высоту или установкой на цементный раствор и штыри заранее заготовленных блоков. Эти работы выполняют после подъемки пролетных строений с установкой подвесных разгрузочных пакетов.

При подъемке пути, а также при сползании конусов следует принимать меры по обеспечению нормального сопряжения устоев с насыпью. Для этого в основании конусов устраивают подпорные стены (рис. 31), удлиняют устои устройством железобетонных крыльев, заборных стенок и т. д. Эти переустройства устоев рекомендуется выполнять в соответствии с имеющимися типовыми решениями.

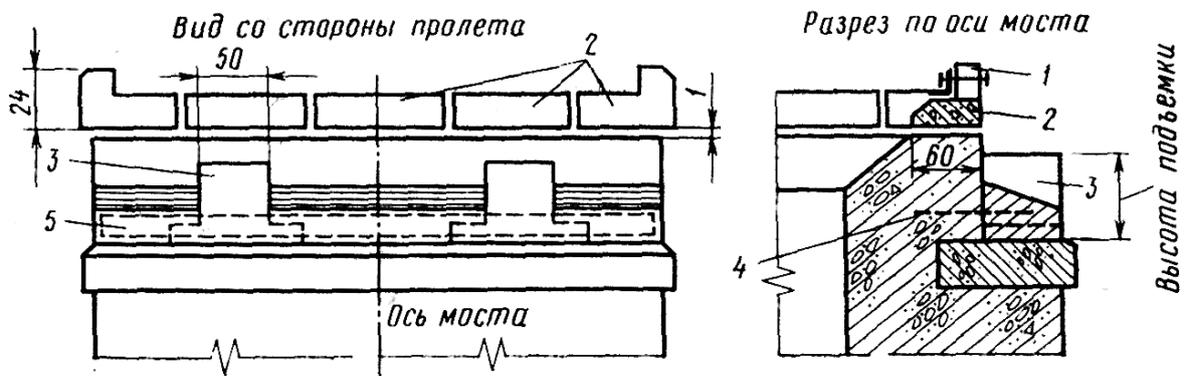


Рис. 29. Наращивание подферменной площадки железобетонными блоками:  
1 – брус 20 х 24; 2 – блоки шкафной стенки; 3 – новый подферменный блок;  
4 – штырь; 5 – арматурный каркас

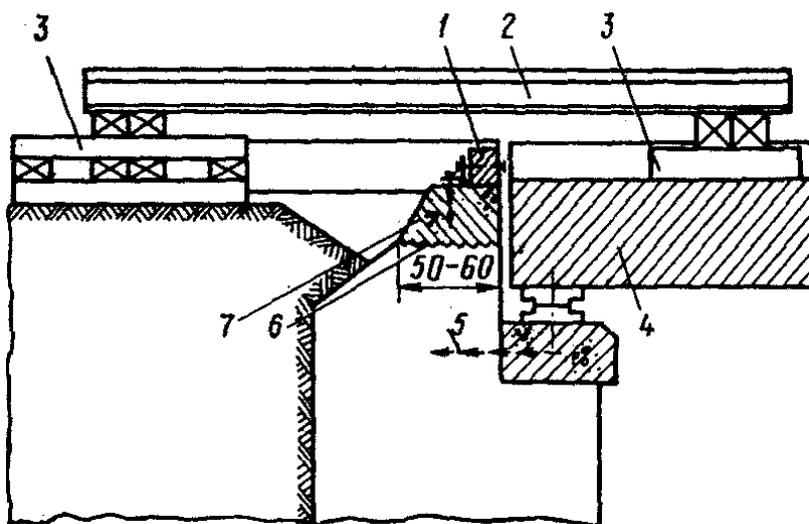


Рис. 30.  
Наращивание шкафной стенки устоя:  
1 – брус 20 х 24;  
2 – подвесной пакет;  
3 – клетки;  
4 – пролетное строение;  
5 – штырь; 6 – насечки; 7 – бетон

**Переустройство моста под совмещенную езду.** Реконструкция железнодорожных мостов с устройством на них автомобильных проездов – исключительный вид реконструкции, который выполняется редко из-за сложности

работ и последующей эксплуатации. Переустройство эксплуатируемых железнодорожных мостов под совмещенную езду из-за сочетания в этом решении целого ряда сложных технических и организационных обстоятельств осуществляется на основании тщательного технико-экономического анализа с учетом резерва грузоподъемности моста в начальном периоде эксплуатации.

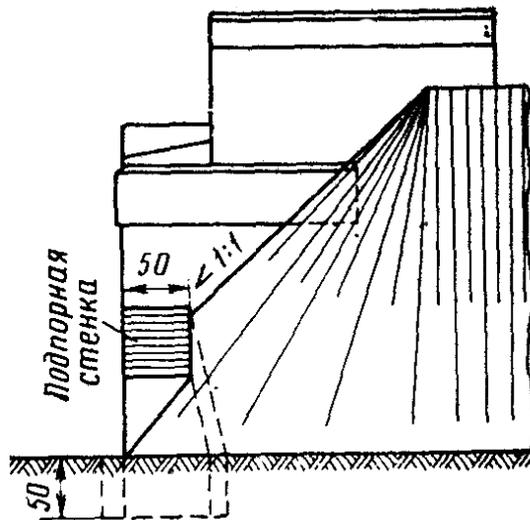


Рис. 31.  
Подпорная стена в основании конуса насыпи

До реконструкции железнодорожного моста под совмещенную езду решают ряд принципиальных вопросов: оценивают грузоподъемность пролетных строений, оснований и опор, выбирают конструкцию и положение автопроезда и транспортных развязок, решают вопросы, связанные с организацией эксплуатации и содержания моста в новых условиях. При оценке грузоподъемности элементов моста исходят из достаточности ее на перспективу и с таким расчетом, чтобы в этот период не возникла необходимость введения ограничений в движении поездов по этому признаку. Указанное обстоятельство может потребовать перед реконструкцией моста выполнения усиления некоторых его элементов до необходимого уровня грузоподъемности.

Конструкцию автодорожного проезда и его расположение на существующих пролетных строениях выбирают на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом эксплуатационных особенностей. При определении уровня автодорожного проезда возможны такие варианты его расположения:

- 1) на консолях поперечных балок, пристраиваемых к существующим пролетным строениям;
- 2) между фермами над железнодорожным проездом при достаточной ширине и высоте пролетных строений;
- 3) в уровне верхних поясов, особенно при пролетных строениях постоянной высоты.

На консолях поперечных балок разместить автодорожный проезд можно во всех случаях. Этот вариант имеет преимущество перед прочими по строительным затратам, проще решается вопрос о развязках движения железнодорожного и автомобильного транспорта, так как они могут быть устроены в наиболее удобных местах. Размещать автодорожный проезд над железнодорожным в пределах внутреннего габарита пролетных строений целесообразно при достаточной их высоте (не менее 14...15 м), так как при этом объемы работ по переустройству верхних горизонтальных и поперечных связей между главными фермами будут наименьшими. В уровне верхних поясов главных ферм размещать автодорожный проезд целесообразно при пролетных строениях с параллельными поясами.

Принимать решения по размещению автодорожного проезда на железнодорожных мостах необходимо в комплексе с устройством развязок транспорта на подходах к мосту. Местоположение и конструкция таких развязок имеют чаще всего индивидуальные решения. Тем не менее, общее положение при проектировании развязок – целесообразность устройства их сразу за мостом, что дает наименьшую длину и стоимость подходных эстакад.

В качестве примера на рис. 32, вверху, приведена схема переустройства железнодорожного моста под совмещенную езду с расположением автодорожного проезда в пределах внутреннего габарита пролетных строений. При замене пролетных строений железнодорожных мостов, расположенных вблизи строящихся автомобильных дорог, возникают предложения по переустройству таких мостов под совмещенную езду, чтобы не строить рядом автономный мост под автомобильную дорогу. Целесообразность таких предложений всесторонне анализируется в каждом конкретном случае. Один из решающих факторов в подобных случаях – возможность изготовления в необходимые сроки новых пролетных строений (индивидуальный проект) и состояние и несущая способность опор.

Рассмотрим схему моста (рис. 32, внизу) после реконструкции под совмещенную езду с предварительной заменой старых однопутных пролетных строений и устройством двух автономных железнодорожных и автодорожных проездов. До реконструкции мост был однопутным на опорах с пологими ледорезами, на которых надстроили опоры под пролетные строения второго пути. Сначала в навес смонтировали пролетные строения под второй путь и на них переключили движение поездов. Старые пролетные строения с первого пути убрали поперечной передвижкой на подмости, где демонтировали, а на их месте навесной сборкой собрали новые пролетные строения. Автодорожные проезды разместили в уровне верхних поясов пролетных строений; при этом железобетонную плиту включили в совместную работу с верхними поясами главных ферм.

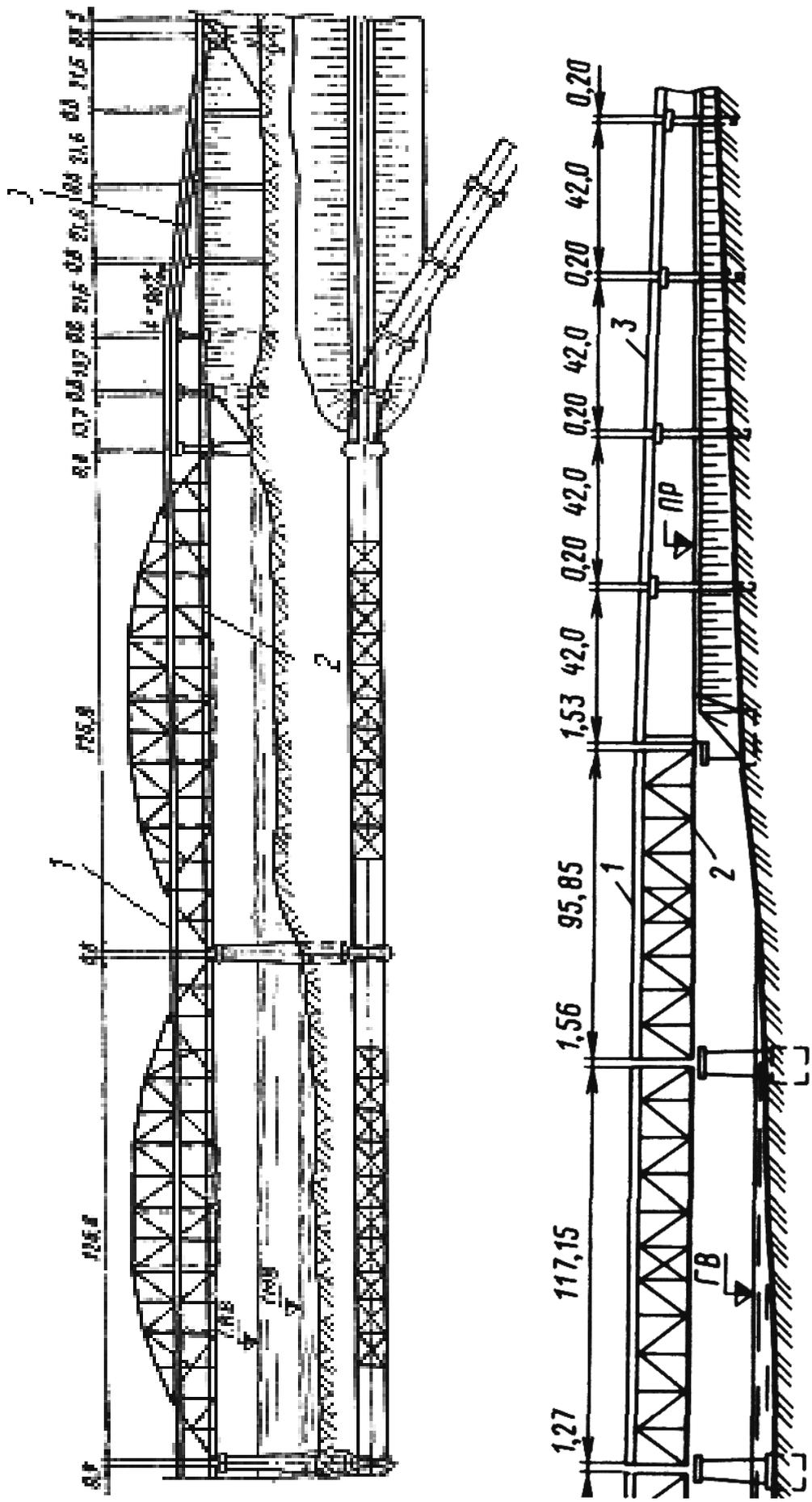


Рис. 32. Схема реконструкции железнодорожного моста под совмещенную езду: сверху – по старым пролетным строениям, внизу – по новым; 1 – автомобильная проезжая часть; 2 – железнодорожная проезжая часть; 3 – эстакада



Автодорожная проезжая часть для правой и левой полос движения выполнена раздельной с устройством сквозного на всю длину моста деформационного шва. Это позволило исключить влияние различного нагружения пролетных строений на работу элементов автодорожного проезда и главных ферм.

На рис. 33 представлена схема железнодорожного моста после реконструкции под железнодорожную и автомобильную нагрузки (проект).

Мост до реконструкции был однопутным на опорах с пологими ледорезами, на которых надстроены опоры под пролетные строения второго пути. Сначала внавес смонтировали пролетные строения под второй путь и на них переключили движение поездов. Старые пролетные строения с первого пути убрали поперечной передвижкой на подмости, где демонтировали, а на их месте навесной сборкой собрали новые пролетные строения. Автопроезды выполнили в уровне верхних поясов пролетных строений с включением железобетонной плиты в совместную работу с верхними поясами главных ферм.

Чтобы исключить влияние несимметричного нагружения пролетных строений на работу элементов автопроезда и главных ферм, автодорожную проезжую часть для правой и левой полос движения выполнили автономной путем устройства сквозного на всю длину моста деформационного шва.

Причины, обуславливающие реконструкцию эксплуатируемых железнодорожных мостов, как это было показано, достаточно многообразны. Также многообразны и конструктивные решения, способы и методы организации работ по реконструкции мостов. Современные достижения науки и техники, а также строительного дела, несомненно, внесут в вопросы реконструкции мостов дальнейшие усовершенствования и прогрессивные решения, что позволит более эффективно решать рассмотренные задачи.

**Прочие виды реконструкции мостов.** В связи с введением в обращение новых типов подвижного состава и электрификацией железных дорог пролетные строения с ездой понизу расчетных норм до 1907 г. включительно требуют увеличения габарита по высоте. В таких пролетных строениях повышают уровень элементов горизонтальных и поперечных связей, а также переустраивают порталное заполнение. Эти работы технически не сложны, но многочисленны. Дополнительный расход металла по переустройству связей, порталов составляет до 4% веса пролетных строений. Схема расположения верхних горизонтальных связей после реконструкции с целью увеличения высоты габарита пролетного строения представлена на рис. 34. На мостах, расположенных на грузонапряженных линиях и участках скоростного движения поездов, необходима реконструкция мостового полотна. Это вызывается требованием повышения безопасности движения поездов и снижения некоторых видов воздействий подвижных нагрузок на мосты.

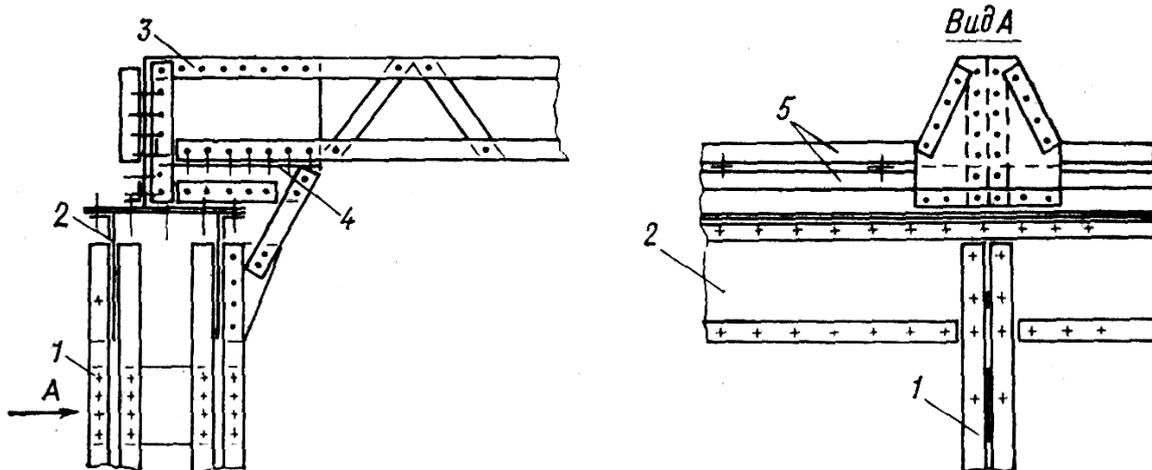


Рис. 34. Схема переустройства верхних связей с целью увеличения высоты габарита пролетного строения: 1 – стойка решетки фермы; 2 – верхний пояс фермы; 3 – распорка; 4 – фанонка горизонтальных связей; 5 – уголки горизонтальных связей

Более совершенными типами мостового полотна по сравнению с полотном на деревянных брусках считают мостовое полотно на металлических поперечинах, с ездой по железобетонной плите (балластная или безбалластная) либо полотно на железобетонных безбалластных плитах конструкции НИИ мостов, рис. 35. Исследования этих типов мостового полотна показывают, что наряду с обеспечением повышенной безопасности движения поездов и снижением серьезности последствий при сходе подвижного состава они достаточно экономичны. Несмотря на то, что некоторые из названных типов мостового полотна окончательно еще не отработаны, можно считать, что после завершения опытной проверки и усовершенствования они найдут широкое применение.

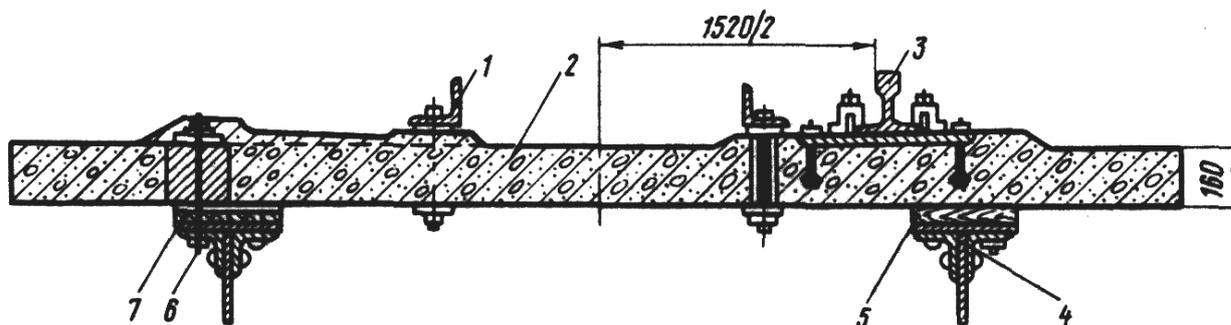


Рис. 35. Конструкция безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах: 1 – контруголок 160 x I60 x 16; 2 – плита; 3 – путевой рельс; 4 – опорная деревянная прокладка; 5 – продольная балка; 6 – шпилька; 7 – арматура прокладного слоя

Мостовое полотно на безбалластных железобетонных плитах применяют на мостах, расположенных на прямых участках пути с уклоном до 4‰ – в металлических пролетных строениях как с ездой поверху, так и понизу при расстоянии между главными (продольными) балками от 1,80 до 2,40 м. При уклонах пути на мосту более 4‰ и на кривых участках пути такое полотно можно укладывать только по согласованию с Главным управлением пути МПС. Мостовое полотно на железобетонных плитах рекомендуется устраивать при сплошной смене полотна на деревянных поперечинах, если замена пролетных строений не предполагается в ближайшие 10...15 лет. Последовательность выполнения основных работ по замене

мостового полотна рекомендуется следующая: в подготовительный период (без закрытия перегона) устраивают тротуары раздельного типа, подготавливают к снятию старое мостовое полотно, очищают и защищают (в доступных местах) от коррозии верхние пояса балок и связей; после закрытия перегона убирают старое мостовое полотно железнодорожными кранами или путееукладчиками. По мере снятия полотна срезают вертикальные полки противоугольных уголков, размечают положение плит и отверстий для крепежных шпилек, устанавливают опорные деревянные прокладки и арматуру прокладного слоя, затем укладывают плиты и после приведения их в проектное положение затягивают шпильки усилием 80 кН (допускается временно ставить 50% шпилек). После укладки и проверки пути открывают движение поездов со скоростью не более 25 км/ч. Охранные устройства, цементно-песчаный прокладной слой и гидроизоляцию элементов полотна разрешается делать после открытия движения поездов. Заливают раствором прокладной слой в теплое время года, но не позднее 6...8 мес с момента укладки полотна. По достижении раствором прочности на сжатие 9,80 МПа шпильки затягивают на расчетное усилие 200 кН. Гидроизоляцию швов между плитами устраивают из тиоколовой мастики при температуре не ниже +5°C. Работами по замене полотна в «окно» при выполнении их силами дистанции пути руководит начальник дистанции или его заместитель. Продолжительность «окна» при замене мостового полотна длиной 25 м с помощью консольного крана составляет около 4 ч. Подробные указания по данному виду реконструкции мостового полотна изложены в Инструкции по применению безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов.

На малых мостах во многих случаях при подъемах пути приходится переустраивать некоторые элементы: наращивать борта железобетонных пролетных строений, шкафные и боковые стенки устоев, поднимать пролетные строения, наращивать подферменники. Возможность подъема пути на пролетных строениях и устоях за счет увеличения толщины балластного слоя обосновывается расчетами прочности бортов, консолей пролетных строений, устойчивости и прочности шкафных и обратных стенок устоев. Следует иметь в виду, что увеличение толщины балластного слоя на пролетном строении снижает класс его грузоподъемности, особенно это снижение, заметно для тротуарных консолей и бортов балластного корыта. На мостах с железобетонными пролетными строениями, построенными до 1925 г., а если нельзя увеличить толщину балластного слоя на железобетонных мостах – и более поздней постройки, а также на металлических мостах поднимают пролетные строения и наращивают шкафные стенки, подферменники, переустраивают кордонные камни. При наращивании шкафных, боковых стенок устоев и подферменников перекрывают пакетом участок работ и ограничивают скорость движения поездов до 25 км/ч. Переустраивают кордонные камни и наращивают борта пролетных строений без перерыва и ограничения скорости движения поездов. Подъемку пролетных строений, установку и уборку пакетов выполняют в «окно».

После подъемов пути, а также при сползании конусов насыпи у устоев принимают меры по обеспечению ее устойчивости: сооружают подпорные стенки в основании конусов (рис. 36), удлиняют обратные стенки устоев, для чего пристраивают железобетонные консоли (крылья) (рис. 37) или удлиняют устои при помощи бездонных ящиков (рис. 38).

Распространенный вид переустройства мостов – замена их водопропускным и трубами при крупных повреждениях элементов мостов (для устранения которых требуются значительные затраты или сложная организация работ) или если нужно углубить русло водотока для осушения прилегающей к мосту местности и улучшения водоотвода.

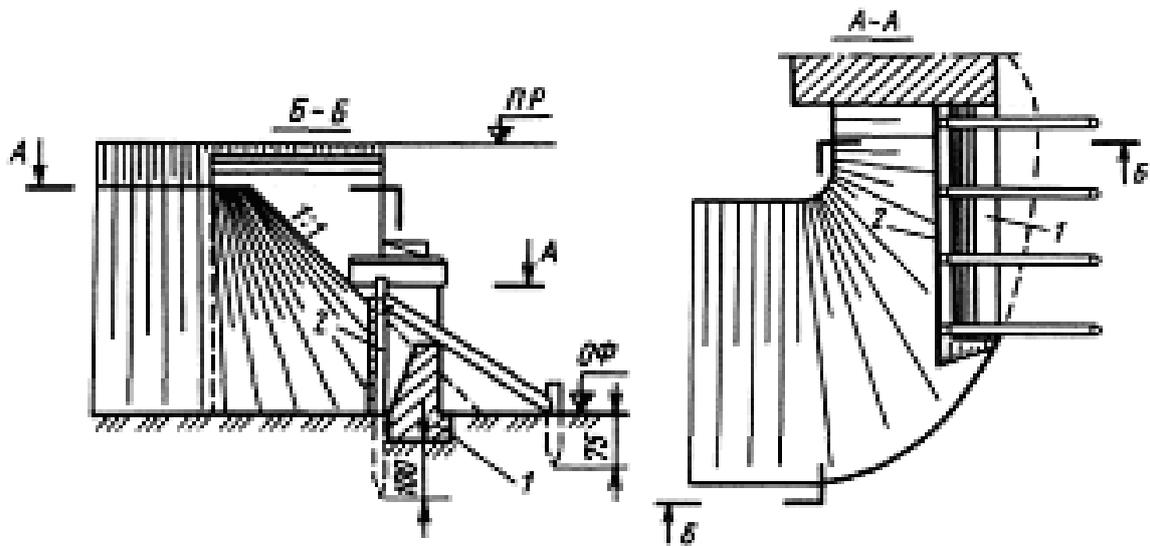


Рис. 36. Устройство подпорной стенки в основании конуса насыпи:  
1 – подпорная стенка; 2 – ременное крепление откоса конуса

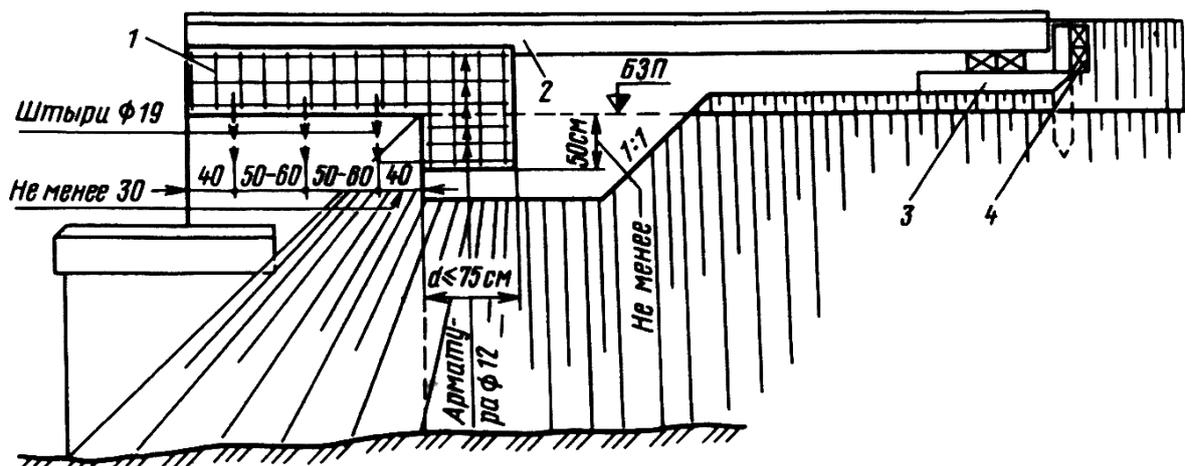


Рис. 37. Удлинение обратных стенок устоя: 1 – железобетонная консоль (крыло);  
2 – инвентарное пролетное строение; 3 – лежни; 4 – крепление балластной призмы

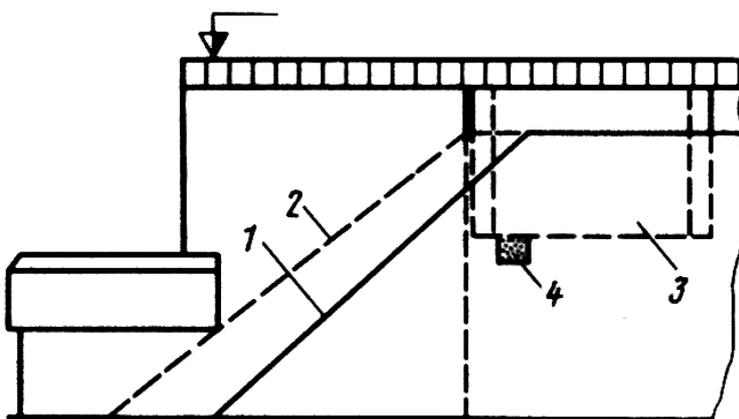


Рис. 38.  
Удлинение устоя бездонным ящиком:  
1 – существующее положение конуса насыпи;  
2 – проектное положение;  
3 – железобетонный ящик;  
4 – дренаж

Деревянные мосты наиболее часто заменяют трубами. Возможность замены моста трубой проверяется гидравлическим расчетом. Каменные мосты с большими повреждениями кладки опор и пролетных строений нередко переустраивают на трубы, встроенные в очертание свода моста. Рассмотрим вариант переустройства каменного моста в прямоугольную трубу (рис. 39). Бетонные блоки фундаментов под трубу и оголовки укладывают на уплотненную щебеночную подготовку толщиной не менее 10 см. Если непосредственно под мостом такие блоки уложить трудно, то на этом участке фундамент устраивают из монолитного бетона.

Зазоры между сводом, устоями моста и установленными звеньями трубы плотно забивают жестким бетоном или бутовой кладкой на цементном растворе. Засыпают трубы слоями толщиной не более 30 см с трамбованием. Для обеспечения устойчивости откосов насыпи рекомендуется перед засыпкой трубы нарезать уступы на конусах насыпи. Щековые стенки моста разбирают на высоту 75 см и досыпают откос балластной призмы в пределах их длины. В качестве примера дана схема замены малого балочного железобетонного моста трубой (рис. 40). Устройство шпунтового ограждения котлована под фундамент трубы, укладку фундамента, звеньев трубы, их изоляцию и отсыпку насыпи по концам трубы можно выполнить без прекращения движения поездов. В «окно» убирают пролетное строение, разбирают верхнюю часть устоев на высоту не менее 1 м от подошвы рельса и досыпают насыпь над трубой.

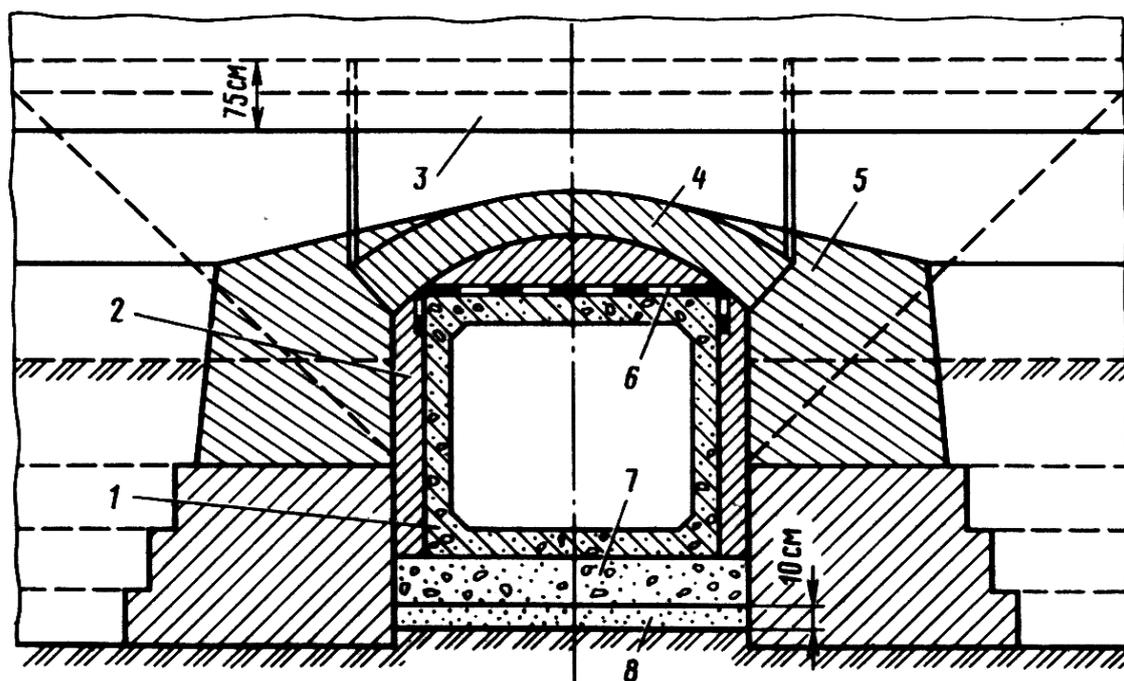


Рис. 39. Переустройство каменного моста в трубу: 1 – прямоугольная железобетонная труба; 2 – бетон, 3 – щековые стенки моста, разбираемые на высоту 75 см, 4 – свод переустраиваемого моста; 5 – каменная кладка; 6 – гидроизоляция трубы; 7 – фундамент трубы; 8 – щебень

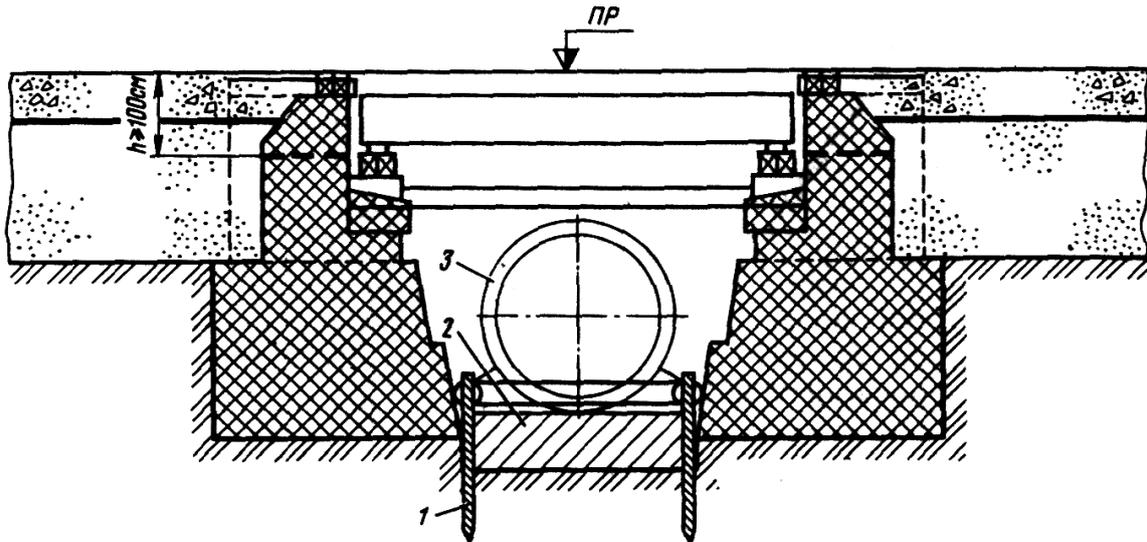


Рис. 40. Замена малого балочного моста трубой:

1 – шпунтовое ограждение; 2 – фундамент трубы, 3 – труба

Деревянный мост в железобетонную трубу переустраивают в три этапа (рис. 41): подготовительный – до закрытия перегона, основной – в «окно», заключительный – после «окна». В подготовительный период завозят оборудование, материалы, подготавливают место для работы железнодорожного крана, устраивают дополнительные рамные опоры под разгрузочный подвесной пакет. В основной период в «окно» краном снимают часть деревянного пролетного строения (на длине пакета) и удаляют опоры, попадающие в контур трубы, затем устанавливают подвесной пакет, опирая его на ранее установленные рамные опоры. После этого открывают движение поездов и окончательно подготавливаются к устройству трубы. В основное «окно» выполняют работы в такой последовательности: подают платформы с балластом, убирают краном пути и пакет, разрабатывают (бульдозером) котлован под фундамент трубы (зачистка дна котлована делается вручную), укладывают звенья трубы и наносят на них изоляцию. После этого отсыпают насыпь на неполный профиль, укладывают звенья рельсового пути и балласт, убирают кран, платформы и открывают движение поездов. Продолжительность «окна» для выполнения основных работ при замене деревянного моста на трубу зависит от высоты насыпи и сечения трубы. Ориентировочная продолжительность «окна» при высотах насыпи от 3 до 5 м и диаметрах трубы от 1 до 2 м составляет от 7,5 до 12,5 ч. В заключительный период устраивают оголовки трубы и изоляцию на них, досыпают насыпь до полного профиля и выполняют отделочные и прочие работы.

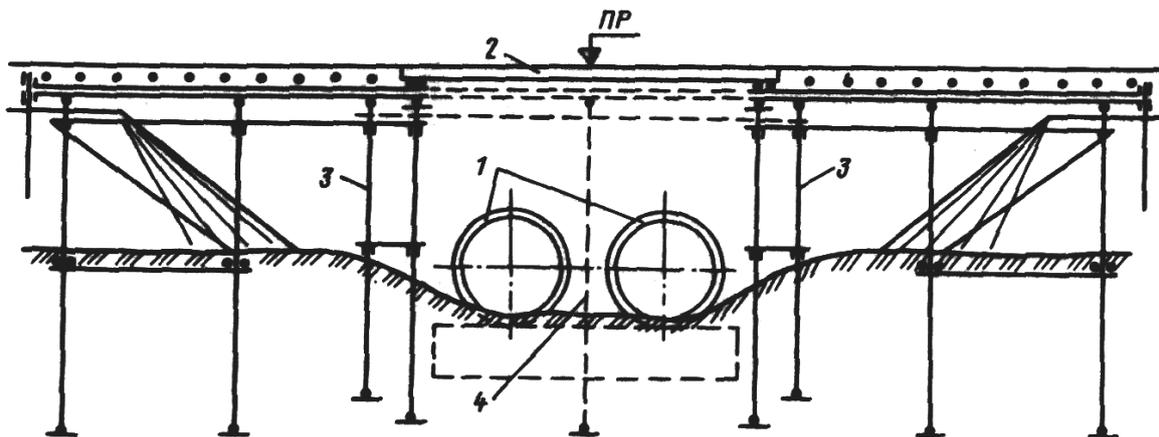


Рис. 41. Переустройство деревянного моста в железобетонную трубу: 1 – труба; 2 – разгрузочный пакет; 3 – дополнительная опора (рама); 4 – опора моста, удаляемая до сооружения трубы

У металлических пролетных строений с ездой понизу постройки по нормам до 1907 г. включительно недостаточный внутренний по высоте габарит для подвески контактного провода при электрификации линии. Для ликвидации такой негабаритности обычно переустраивают порталы, поперечные и продольные связи и доводят высоту габарита до 6300 мм. Портальное заполнение для упрощения производства работ переносят из плоскости опорных раскосов в плоскость первых подвесок (стоек), а ригель портала ставят на горизонтальные листы верхних поясов.

**Реконструкция водопропускных труб.** Наиболее распространенный вид реконструкции водопропускных труб – переустройство оголовков, удлинение труб, увеличение их водопропускной способности. В ряде случаев на эксплуатируемых железнодорожных линиях возникает необходимость в устройстве новых труб под существующими насыпями или замене старых труб новыми. Оголовки переустраивают при недостаточной длине трубы, увеличении водопропускной способности, при крупных повреждениях кладки и деформациях стенок. Нарращивают оголовки по высоте (не более 1 м) при недостаточной длине трубы для поддержания откоса насыпи. Элементы наращивания оголовков в зависимости от их размеров могут быть из каменных, бетонных или железобетонных сборных блоков, которые соединяют со старой кладкой стальными штырями. Оголовки сложной конфигурации в плане (коридорный, воротниковый, раструбный) наращивают по всему периметру из монолитного бетона или железобетона.

Трубы удлиняют в том случае, если требуется нарастить оголовок для поддержания откоса насыпи на высоту более 1 м, а также при частом расстройстве кладки стенок оголовков. При удлинении труб кладку фундаментов, как правило, не разбирают и сохраняют существующее отверстие (рис. 42). Старые фундаменты под оголовками трубы разбирают при плохом состоянии кладки, при недостаточных размерах по глубине на промерзание и в плане. Участки трубы пристраивают по типу старой существующей, а новые оголовки могут быть изменены. Для удержания откосов насыпи при удлинении труб устраивают землеградительные стенки. Удлиняют трубы без перерыва и ограничения скорости движения поездов.

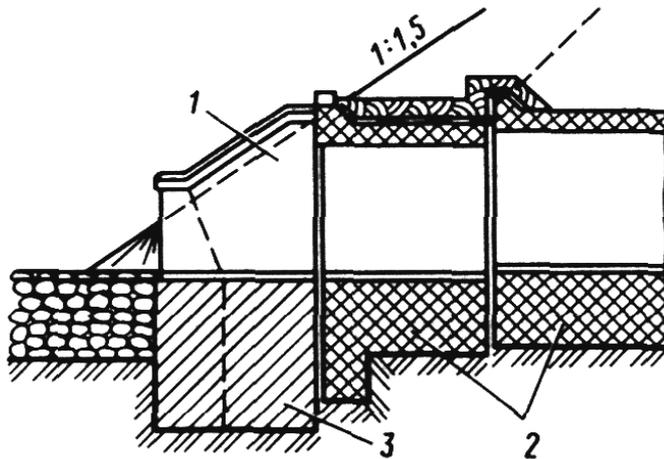


Рис. 42.  
Удлинение трубы:  
1 – новый оголовок;  
2 – старая кладка фундамента;  
3 – новая кладка

Если нужно увеличить водопрпускную способность эксплуатируемых труб, то сначала рассматривают, возможно, ли это выполнить изменением конструкции оголовка или устройством на входе повышенного звена. У труб старой постройки обычно порталные, коридорные, воротниковые и раструбные плохо обтекаемые оголовки, которые по сравнению с обтекаемыми, например коническими, в трубах равных отверстий имеют пропускную способность ниже на 40%. Поэтому во многих случаях путем переустройства необтекаемого оголовка в обтекаемый удастся повысить пропускную способность трубы. Необтекаемые оголовки даже при затопленном входе в трубу приводят к работе ее неполным сечением из-за сжатия потока у верхнего ребра входного отверстия. По предложению ЛИИЖТа для повышения пропускной способности трубы над входным отверстием устраивают обтекаемый открьлок (козырек) или обтекаемую перемычку (рис. 43). Эту работу можно выполнить силами дистанции пути без капитального переустройства трубы.

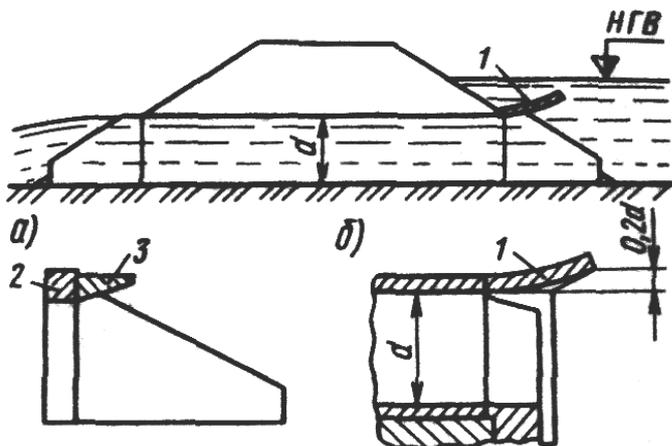


Рис. 43.  
Переустройство необтекаемого входного оголовка трубы:  
*a* – сооружение обтекаемой перемычки; *б* – то же открьлок (козырька).  
1 – открьлок (козырек);  
2 – старая перемычка необтекаемого оголовка;  
3 – дополнительная (сооружаемая) обтекаемая перемычка

В прямоугольных трубах повышения водопрпускной способности достигают устройством на входе повышенных звеньев. Перед переустройством трубы на повышенный расход воды необходимо проверить и отремонтировать изоляцию в стыках звеньев, особенно если труба будет работать в напорном режиме. Если не удастся таким способом увеличить пропускную способность, то трубу заменяют на новую соответствующих размеров. Переустройство старых труб на новые выполняют и при неудовлетворительном состоянии их основных элементов. Под существующими насыпями трубы сооружают одним из следующих способов. *Открытый способ* (рис. 44,*a*) – насыпь раскрывают под углом естественного откоса в «окно», затем раскрытый

участок перекрывают временным мостом, состоящим из инвентарного пролетного строения на шпальных опорах, и открывают движение поездов. При длине пакета 18,2 м можно сооружать трубы в насыпи высотой до 5 м.

*Способ устройства трубы в прорези* позволяет уменьшить объем земляных работ и длину разгрузочного моста. Стенки крепят по мере углубления (рис. 44,б).

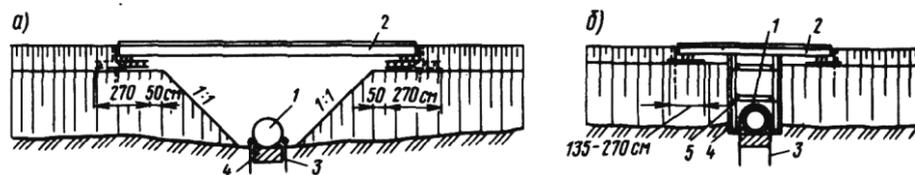


Рис. 44. Устройство трубы в насыпи открытым способом (а) и в прорези (б):

- 1 – сооружаемая труба; 2 – инвентарное пролетное строение. 3 – шпунт;  
4 – фундамент трубы; 5 – распорка

При высоте насыпи 8...10 м рекомендуется *комбинированный способ* (рис. 45): верхнюю часть насыпи раскрывают открытым способом на глубину, определяемую длиной имеющегося пакета и крутизной откосов, а нижнюю проходят прорезью. В насыпях выше 10 м трубы сооружают с проходкой насыпи штольневым (рис. 46) или щитовым способом, а также продавливанием (рис. 47).

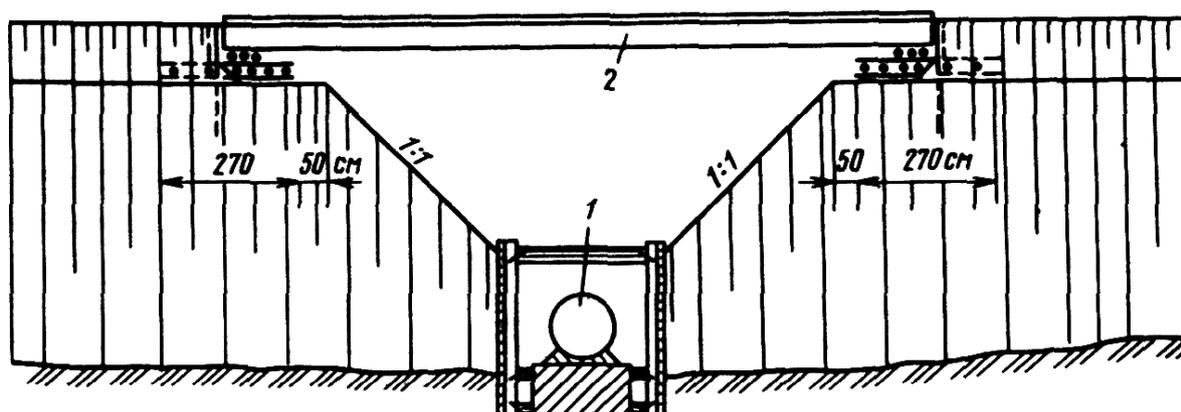


Рис. 45. Устройство трубы в насыпи комбинированным способом:

- 1 – сооружаемая труба; 2 – инвентарное пролетное строение

*Штольневый способ* проходки насыпи из-за ряда существенных недостатков применяют очень редко. *Щитовой способ* достаточно экономичный, наиболее безопасный и применим при любой глубине заложения труб; ограниченность применения его часто вызывается отсутствием горнопроходческого оборудования в строительных организациях. *Способом продавливания* сооружают бесфундаментные железобетонные и металлические трубы. Применение этого способа определяется возможностью устройства надежных упоров для домкратов, вдавливающих звенья в насыпь.

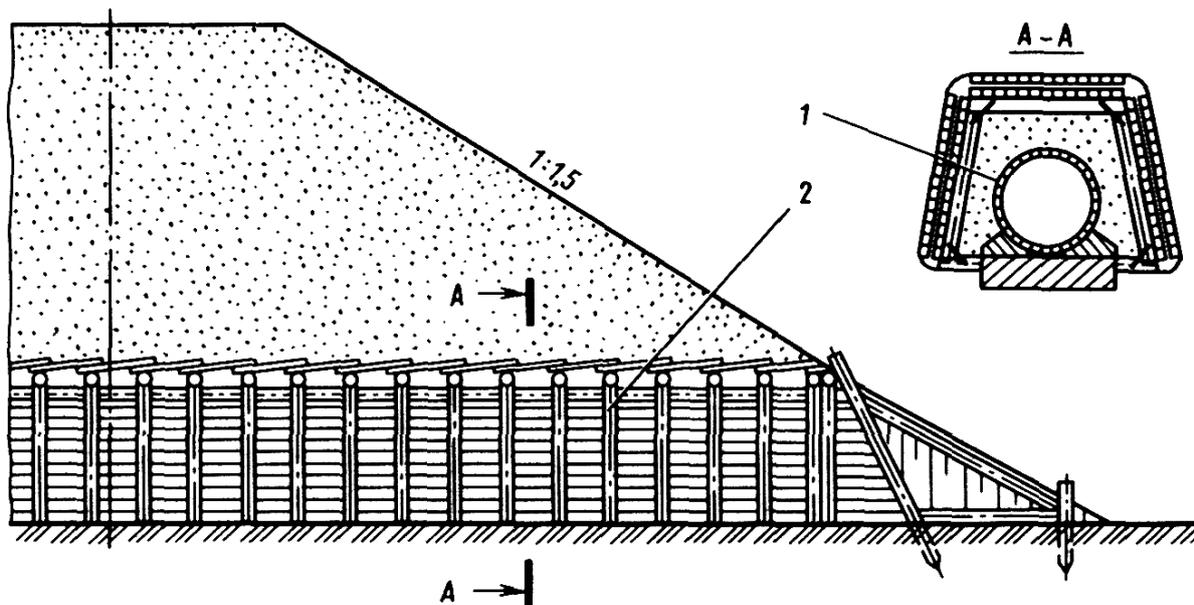


Рис. 46. Устройство трубы в насыпи штольневый способом:  
1 – сооружаемая труба; 2 – крепление штольни

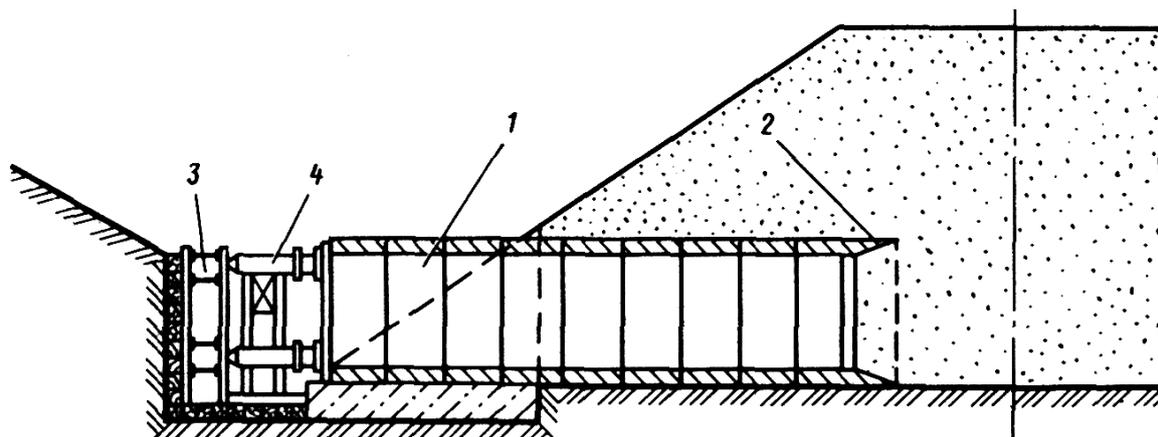


Рис. 47. Устройство трубы в насыпи способом продавливания: 1 – звенья трубы;  
2 – металлический нож; 3 – упорная рама; 4 – домкраты

### Литература

1. Осипов В. О., Козьмин Ю. Г., Анциперовский В. С., Кирста А. А.

Содержание и реконструкция мостов. М., «Транспорт», 1986. – 327 с.

2. Обследование и испытание сооружений. Под ред. О. В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.

3. Реконструкция зданий и сооружений. Под ред. А. Л. Шагина. М.: Высшая школа, 1991. – 362 с.

4. Ашрабов А.А. Реконструкции и восстановление искусственных сооружений на железнодорожном транспорте (конспект лекций). Ташкент. Таш ИИТ. 2006. – 206 с.

5. Шкинев А. Н. Аварии в строительстве. М., 1984. – 319 с.

6. Калинин А. А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений. АСВ. М. 2004, 160 с.

7. Мосты и тоннели на железных дорогах. Под ред. В. О. Осипова – М.: Транспорт, 1988. – 367 с.

8. Инструкция по обследованиям и испытаниям мостов и труб. ВСН 122–65. М.: Оргтрансстрой, 1966. 36 с.

9. Бельский Н. Р., Лебедев А. Н. Усиление стальных конструкций. Киев, 1981.

10. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий/Харьковский ПромстройНИИпроект. – Харьков, 1985.

11. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК им. Кучеренко. М., 1984.

## Содержание

Наименование разделов	Стр.
<b>I. Общие вопросы эксплуатации и задачи реконструкции и восстановления искусственных сооружений.</b>	
1. Основные принципы эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах	3
2. Эксплуатация мостов и труб в особых условиях	19
3. Цели, задачи и методология обследования и испытания конструкций и сооружений	21
4. Особенности реконструкции искусственных сооружений	32
<b>II. Ремонт, реконструкция и усиление элементов эксплуатируемых</b>	<b>38</b>

<b>мостов, путепроводов и труб.</b>	
1. Методы ремонта и усиления конструкций мостов	
2. Реконструкция и замена несущих конструкций искусственных сооружений	54
Литература	81

**АШРАБОВ А. А.,**  
**доктор технических наук, профессор;**  
**РАУПОВ Ч.С.,**  
**кандидат технических наук, доцент**

**Реконструкция и восстановление эксплуатируемых сооружений  
на железнодорожном транспорте**

Редактор: **Т.И.Умурзакова**  
Разрешено в печать \_\_\_\_\_ Объём печ. л. 4,80  
Формат бумаги 60x84. Заказ № \_\_\_\_ Тираж 10 экз.  
Тиражировано в типографии ТашИИТа.  
г. Ташкент, ул. Адылходжаева, 1.