

П.В.Шведовский, В.Н.Дедок

Реконструкция мостов, дорог и транспортных сооружений

(курс лекций)

Допущено Ученым Советом Брестского государственного
технического университета в качестве учебного пособия
для студентов дневной и заочной формы обучения
специальности Т.19.03.00 «Строительство дорог и
транспортных объектов»

Брест 2001

УДК 624.2/8.004.5 (075.8)

Реконструкция мостов, дорог и транспортных сооружений (курс лекций). Шведовский П.В., Дедок В.Н. – Брест.:БГТУ, 2001, 256с.

В учебном пособии изложены вопросы реконструкции мостов, дорог и транспортных сооружений.

При этом, подход к проблемам реконструкции осуществлен как по классическим схемам, так и с учетом научно-технических достижений в ближнем и дальнем зарубежье.

Издание предназначено для студентов автодорожных специальностей и может быть полезно инженерам и техникам в их практической деятельности.

Рис. 167 , табл. 18 , библи. 45 названий.

Рецензент: **начальник группы искусственных сооружений Брестдорпроекта**
Р.Г. Горбачук

ISBN 985-6584-31-0

©Брестский государственный технический университет 2001
©П.В. Шведовский 2001
© В.Н. Дедок 2001

ЧАСТЬ I

РЕКОНСТРУКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

1 Общие проблемы реконструкции автомобильных дорог

1.1 Дорожная сеть республики и ее состояние

В настоящее время в Беларуси создана разветвленная сеть автомобильных дорог. Она позволяет обеспечить круглогодичную транспортную связь практически со всеми крупными и небольшими населенными пунктами страны, включая колхозы и совхозы.

Общая сеть дорог в Республике Беларусь составляет около 150 тыс. км, из которых 64 тыс. км находятся в ведении Комитета по автомобильным дорогам. Из них более трети приходится на трассы республиканского значения, остальные две трети – более 36 тыс. км – дороги местного значения. Лишь один процент этих автодорог не имеет твердого покрытия.

В Беларуси нет хребтов и скал, зато множество рек, озер и других водоемов. Отсюда обилие мостов и других инженерных сооружений. Всего мостов на автомобильных дорогах общего пользования насчитывается около 4740, их общая длина в погонных метрах превышает 254 км. Также на них установлено около 50 тыс. железобетонных труб гидротехнического назначения.

Внешнеэкономические и международные связи Республики Беларусь обеспечивают четыре главных направления:

Брест – Минск – граница Российской Федерации;
Калининград – Каунас – Вильнюс – Минск – Гомель;
Санкт-Петербург – Витебск – Гомель – Киев – Одесса;
Минск – Гродно – Гданьск.

Автомобильная дорога М-1/Е-30 Брест – Минск – граница Российской Федерации является продолжением европейской магистрали Е-30 Лондон–Берлин–Варшава. Отсюда ее стратегическое значение как важнейшего транспортного звена, связывающего страны Запада с Россией и государствами Азии. Учитывая важность этой трассы, правительство Республики Беларусь приняло решение о модернизации указанной дороги с доведением ее параметров до полного соответствия европейским требованиям к автомагистралям. Для этой же цели выделил кредит и Европейский банк реконструкции и развития. Часть средств поступает и от платы за проезд грузовых и легковых автомобилей всех стран по этой трассе.

Автомобильная дорога Калининград–Каунас–Вильнюс–Минск–Гомель пересекает территорию республики с северо-запада на юго-восток и обеспечивает перевозки к крупным морским портам. На Балтийском море это Калининград, Клайпеда и другие, на Черном море – Ильичевск, Одесса. Сюда грузы доходят от Гомеля через территорию Украины.

Следующая крупная автомагистраль, протянувшаяся от Санкт-Петербурга до Одессы через Витебск, Оршу, Могилев и Гомель, связывает северо-западный регион России, а через него и скандинавские страны с Украиной и портами Черного моря.

И, наконец, четвертая крупная трасса (Минск–Гродно–Гданьск) обеспечивает кратчайшую связь стран северной части Западной Европы через морской порт Гданьск в Польше с Белоруссией, Россией и Украиной.

По всем четырем главным автомагистралям республики проходит уже сегодня довольно плотный транспортный поток – до 15 тыс. автомобилей в сутки. Ежегодно он увеличивается

ется в среднем на 5%. На границе Белоруссии с Польшей, Литвой и Латвией действуют около 20 таможенных автодорожных переходов.

В 1997 году в Хельсинки на Паневропейской конференции определены основные транспортные коридоры. Для Беларуси главными являются транспортные коридоры № 2 Лондон–Берлин–Варшава–Москва–Нижний Новгород и № 9 Хельсинки–Санкт-Петербург–Киев–Одесса с ответвлением Гомель–Минск, Киев–Москва, Санкт-Петербург–Москва, Санкт-Петербург–Москва–Липецк – Волгоград–Астрахань. Расположение данных транспортных коридоров на территории нашей страны автоматически включает сети белорусских дорог в европейскую транспортную систему, интенсивность движения по которой уже сегодня составляет от 5 до 30 тыс. автомобилей в сутки. Это существенно повышает требования, которые предъявляются к сети дорог Беларуси. Автомобильные дороги должны соответствовать современным международным стандартам по обеспечению прочности, надежности и долговечности конструкций. Вместе с тем мы имеем в большинстве случаев неклассные магистральные с ограниченной несущей способностью изношенных покрытий, низкой безопасностью движения, слабым сервисным обслуживанием.

Согласно последним результатам диагностики дорог республиканского значения (15,5 тыс. км), 12,5% (1900 км) имеют неудовлетворительную ровность, на 1100 км (7%) не обеспечены сцепные качества покрытия, 2480 км (16%) имеют недостаточную несущую способность из-за сильного износа. По этим же причинам 60 % общей протяженности дорог местного значения не удовлетворяют нормативным требованиям. Так как мы фактически живем в едином союзе с Россией, то давайте проанализируем состояние дорог и в России.

Протяженность сети автомобильных дорог Российской Федерации составляет 922 тыс. км, из них с твердым покрытием – 746 тыс. км. По данным Федеральной Дорожной Службы интенсивность движения на автомобильных дорогах ежегодно увеличивалась на 27%, при этом 40% федеральных дорог нуждаются в усилении дорожной «одежды» в условиях роста осевых нагрузок, 19% требуют восстановления и реконструкции и 11% требуют уширения проезжей части, 20% мостов и путепроводов (из 5168) находятся в неудовлетворительном состоянии. Еще более неблагоприятное состояние местных дорог, большинство из которых не имеют капитального дорожного покрытия.

Проблема усугубляется тем, что в настоящее время транспортная инфраструктура России и Беларуси развивается в условиях резкого снижения объемов государственного финансирования. Несмотря на то, что в 1997 году удалось стабилизировать ситуацию в системе дорожного хозяйства, а в 1998 году наметилась стойкая тенденция к сокращению объемов недоремонта дорог на 2%, объемы недоремонта остаются существенными, так как в 1996 году объем недоремонта на республиканских дорогах Беларуси составил 6254 км по капитальному ремонту и 1940 км по среднему ремонту. Что касается реконструкции, то картина еще более печальная.

А ведь известно, что состояние сети дорог и определяет себестоимость перевозок по ним (доля транспортной составляющей – около 20%). Анализ состояния дорог специалистами Всемирного банка показал, что дополнительные потери из-за недоремонта 1350 км приоритетных участков дорог составляют 250 млн. долларов США в первый год за счет износа парка автомобилей, а в дальнейшем потери растут по экспоненте. Поэтому основная задача

дорожников Беларуси в настоящее время – не допустить обвального разрушения покрытий автомобильных дорог. Это положение легло в основу правительственных программ «Дороги Беларуси» и др. Программы определяют техническую направленность дорожной отрасли наших стран на ближайший период, которая должна быть реализована для улучшения надежности сети дорог при сокращении затрат финансовых и трудовых ресурсов без ущерба для качества продукции.

А о стоимости работ по поддержанию дорог в технически – эксплуатационном состоянии говорят следующие данные:

Таблица 1.1

Наименование работ	стоимость 1м ² , долларов США
1 Восстановление ровности покрытия без добавления новой смеси; перепрофилирование (Refort).	3,95
2 Термопрофилирование с укладкой тонкого слоя износа (Repave).	5,85
3 Усиление конструкции путем терморегенерации верхнего слоя покрытия с добавлением новых материалов (Remix).	5,64
4 Термопрофилирование с добавлением нового материала и укладкой слоя износа (Remix-Plus), глубина переработки до 6 см; толщина слоя износа до 4 см.	8,12
5 Выравнивающий слой с однослойным покрытием.	6,80
6 Выравнивающий слой с двухслойным асфальтобетонным покрытием.	10,10

Ну и в заключение несколько цифр, которые заставят Вас задуматься о перспективе вашей профессии и необходимости быть профессионалом своего дела:

1) На сегодня более пяти тысяч сельских населенных пунктов не имеют устойчивой связи с дорогами общего пользования.

2) Более 30 тыс. км дорог, находящиеся на балансе сельских советов эксплуатируются без всякого обслуживания.

3) Дороги составляют пятую часть стоимости всех богатств страны.

4) Потери народного хозяйства республики от плохого состояния дорог ежегодно составляет свыше 2,5 млрд. долларов США.

5) При существующих объемах финансирования к 2005 году республика теряет 26% существующих дорог и более 25% дорог окажется на грани разрушения. Для недопущения такой ситуации необходимы ежегодные капитальные вложения порядка 2 млрд. долларов США.

6) Для доведения эксплуатационного состояния транспортных магистралей республики до уровня европейских нужно порядка 20 млрд. долларов. Однако, вложив в дороги эти деньги, народное хозяйство республики за счет снижения потерь и стоимости перевозок может получить прибыль порядка 30 млрд. долларов США.

1.2 Понятие о реконструкции дорог

Часто употребляемый термин «реконструкция дорог» не имеет четкого однозначного определения. Слову «реконструкция», как иностранному термину, в русском языке соответствует широкий круг понятий: коренное переустройство, перестройка по новым принципам, переоборудование, усовершенствование или упорядочение чего-либо.

Применительно к автомобильным дорогам под реконструкцией обычно понимают коренное переустройство с существенным улучшением условий движения.

По классификации дорожно-ремонтных работ отличие реконструкции от ремонтных работ заключается только в том, что при реконструкции происходит повышение категории дороги. Поэтому проектирование дорог при реконструкции следует вести по принципам, которые заложены в действующих технических нормах на проектирование и строительство дорог, соответствующих более высоким категориям, чем та, которая присвоена автомобильной дороге, подлежащей реконструкции. В то же время все ремонтные работы, в том числе и работы по капитальному ремонту, должны выполняться по проектам, составленным применительно к той категории, которую имеет данная дорога.

Однако с точки зрения техники выполнения отдельных работ по капитальному ремонту или реконструкции дороги между ними нет принципиальной разницы.

В городских дорожных организациях, иногда даже подразделяют капитальный ремонт на два вида: возобновительный и реконструктивный, подчеркивая этим, что во втором случае заменяют отдельные конструкции и материалы, предусматривают значительное повышение работоспособности сооружения, но без изменения их габаритных размеров, которые проводят только при реконструкции.

Действующая классификация ремонтных работ позволяет при капитальном ремонте существенно улучшить транспортно-эксплуатационные характеристики ремонтируемых объектов, повысить технические нормативы дорог в пределах присвоенных им технических категорий, а также увеличить прочность дорожных одежд и сооружений. При этом вводится ряд ограничений – спрямление дороги и увеличение высоты земляного полотна допускаются только на 25% от общего протяжения ремонтируемой дороги, замена ветхих мостов только при их длине менее 126 м. При капитальном ремонте не допускается постройка пересечений в разных уровнях, переоборудование дорог с двумя полосами движения в дорогу с центральной разделительной полосой и проезжими частями для одностороннего движения.

Следует также учесть, что на практике, независимо от того, составляется ли проект капитального ремонта или реконструкции дороги, естественное стремление проектировщиков использовать существующую дорогу и снизить материальные, трудовые и денежные затраты чаще всего приводит к применению при проектировании минимальных и допускаемых в исключительных случаях нормативов на элементы плана и профиля и требований к видимости.

Из всего сказанного следует, что деление работ по улучшению дорог на капитальный ремонт и реконструкцию весьма условно. Оно связано в настоящее время с использованием разных источников финансирования и включением их в различные планы.

Реконструкцию дорог выполняют за счет капитальных вложений по народнохозяйственным планам, утверждаемым по представлению Совета Министров, а капитальный ремонт по титулам Комитета автомобильных дорог за счет бюджетных ассигнований.

Известно, что дороги проектируют с расчетом удовлетворения требований движения на перспективу не менее чем 20 лет. Технические условия на проектирование дорог перерабатывают через значительно более короткие промежутки времени.

Рассмотрим динамику изменения требований действовавших в СССР в разное время технических условий к радиусам кривых в плане и профиле, к расстояниям видимости, ширине земляного полотна и проезжей части дорог наиболее высокой категории с двумя полосами движения (рисунок 1.1). Из графика следует, что введенная в эксплуатацию дорога уже через несколько лет

после издания новых норм перестает удовлетворять требованиям присвоенной ей категории. Отсюда возникает вопрос о целесообразности обязательной перестройки дороги только для того, чтобы формально привести ее элементы в соответствие с нормативами действующих технических условий, которые через несколько лет при очередном пересмотре все равно окажутся устаревшими.

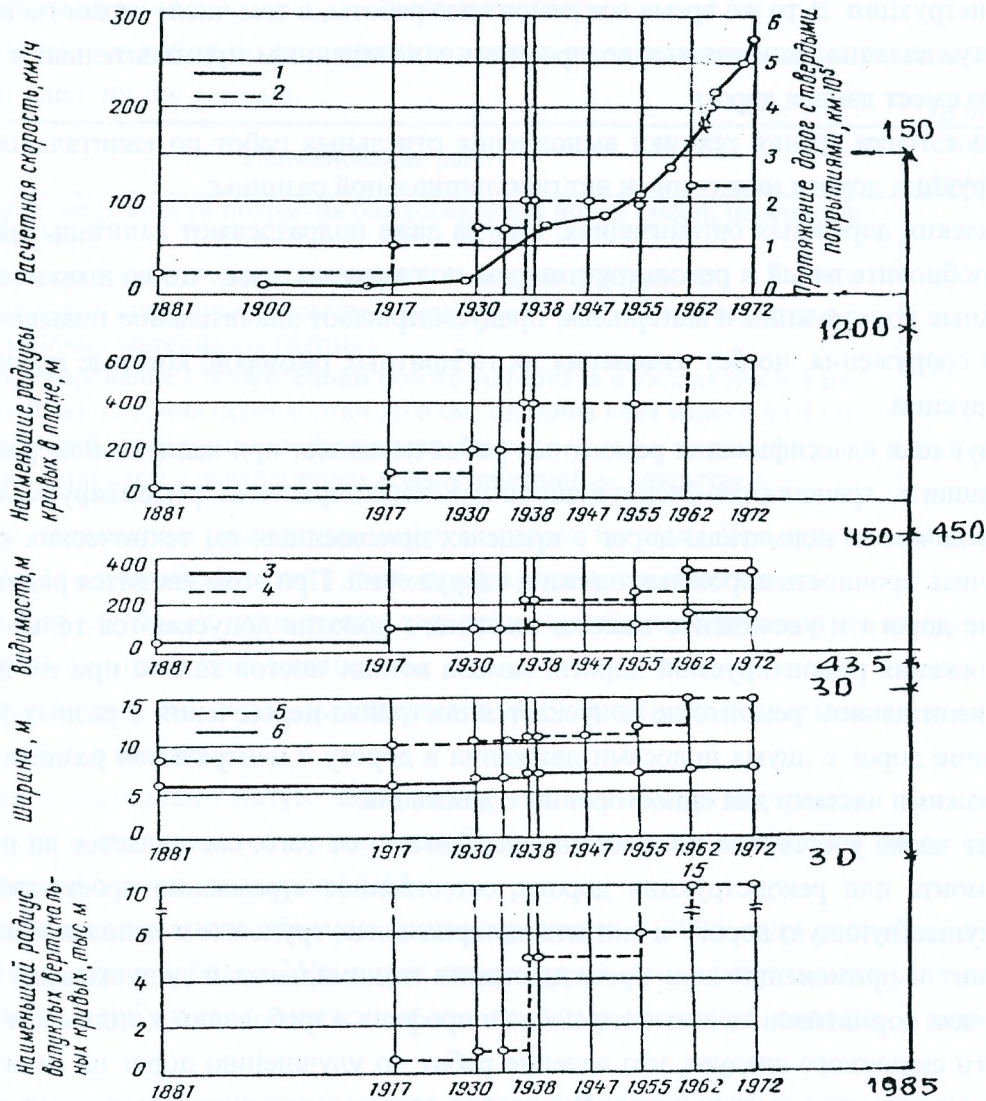


Рисунок 1.1 Изменение технических условий на элементы автомобильных дорог при пересмотрах технических условий: 1 – протяженность дорог с твердым покрытием; 2 – расчетные скорости движения; 3 – видимость в плане; 4 – видимость в профиле; 5 – ширина земляного полотна; 6 – ширина проезжей части.

В связи с этим работы, выполняемые при реконструкции, имеют более сложный и объемный характер, чем при капитальном ремонте, который обычно проводят в установленные межремонтные сроки небольшими участками, объединяя для этого суммы, выделенные на всю дорогу. Однако характер выполняемых работ в обоих случаях практически одинаков.

Учитывая все сказанное, под реконструкцией дороги подразумевается перестройка дороги или ее отдельных участков с расчетом на изменившиеся или перспективные условия

движения с обязательным проведением комплекса работ, повышающих транспортно-эксплуатационные качества, удобство и безопасность движения по дороге.

1.3 Характер работ, выполняемых при реконструкции дорог

В связи с действующей классификацией ремонтных работ, существует мнение, что при реконструкции дороги все ее элементы должны быть доведены до значений, обеспечивающих возможность движения с расчетной скоростью для присвоенной дороге категории.

Однако выполнение этого формального требования часто бывает нецелесообразно. Создать дорогу, которую автомобили проезжали бы с постоянной расчетной скоростью, невозможно. На крутых подъемах ни один современный автомобиль не может развить расчетной скорости из-за недостаточной мощности двигателя. На спусках водители вынуждены ограничивать скорости по соображениям безопасности движения. Значительную часть года – осенью, весной и зимой – из-за недостаточного коэффициента сцепления шин с покрытием движение по дорогам высших категорий с расчетными скоростями сопряжено с опасностью дорожно-транспортных происшествий. С другой стороны, на ровных прямых участках дорог с усовершенствованными покрытиями в сухом состоянии автомобили могут развивать скорости, намного превышающие расчетные.

Таким образом, расчетная скорость не является показателем транспортных качеств дороги. По сути, так называемая расчетная скорость – это верхний предел технически допустимой скорости движения на более опасных участках дороги при благоприятных условиях погоды. Введение большинством стран ограничения расчетной скорости, в связи с требованиями безопасности движения, изменяет понятие о расчетной скорости. Сегодня она характеризует определенный запас безопасности, предусматриваемый при проектировании дороги.

Причины, вызывающие необходимость дороги, могут быть самые разные. Основные это:

- рост интенсивности движения, приводящий к снижению скоростей и возникновению заторов на отдельных участках дороги и к резкому ухудшению ее транспортных качеств;
- рост числа дорожно-транспортных происшествий;
- необходимость выноса дорог из населенных пунктов или с планировочной территории вновь строящихся предприятий или сооружений, например аэродромов;
- устранение пересечений в одном уровне с железными дорогами;
- учет требований охраны окружающей среды;
- необходимость обеспечения проезда по дороге транспортных средств с высокими скоростями движения, например, автобусов дальних междугородных линий или интенсивных туристских потоков;
- необходимость приспособления дороги к регулярному движению длинных автопоездов;
- появление в составе транспортного потока автомобилей с большими габаритами или большими нагрузками на ось.

Реконструкция, придавая дороге новые качества, восстанавливает на некоторый период времени нормальные условия движения пока при дальнейшем росте интенсивности движе-

ния или изменения его состава вновь не начнет проявляться влияние факторов, снижающих эффективность использования автомобильного транспорта и повышающих аварийность.

Объем работ, необходимых для реконструкции отдельных дорог зависит от их роли в транспортной сети страны.

Наложение схемы рациональной дорожной сети на сеть существующих дорог показывает, что многие маршруты совпадают с существующими, отдельные – являются малозагруженными, а по ряду направлений требуется постройка новых дорог.

При совпадении направлений дорог, предусмотренных проектом сети, с существующими возможны следующие случаи:

- технические параметры существующей дороги практически удовлетворяют требованиям перспективного роста движения в течение достаточно отдаленного периода (20 лет и более);

- технические параметры, не удовлетворяя требованиям движения на далекую перспективу, путем сравнительно простых мероприятий могут быть доведены до степени соответствия требованиям движения в течение более короткого срока (8-10 лет);

- технические параметры существующей дороги невысоки, а движение возрастает очень быстро. Через короткий период времени интенсивность достигнет той предельной величины, которую может обслужить эта дорога.

Первый случай является наиболее простым. Реконструкция отдельных немногочисленных неблагоприятных участков, произведенная в процессе капитальных ремонтов в оптимальный для производства работ период, на долгие годы обеспечит нормальную службу дороги при хороших экономических показателях автомобильного транспорта.

В третьем случае стоимость реконструкции старой дороги под новые нормативы, учитывая помехи для движения, разнотипность выполняемых работ и неудобство использования дорожно-строительных машин, может оказаться большей, чем постройки дороги по новому направлению. Поэтому в третьем случае наиболее целесообразно только одно решение – оставление на существующей дороге местных перевозок с интенсивностью, соответствующей параметрам дороги, и строительство новой параллельной дороги с техническими параметрами, удовлетворяющими требованиям перспективного движения.

Наиболее сложным, но и распространённым, является второй случай.

1.4 Изменение условий движения при возрастании интенсивности движения

На большинстве дорог имеется много участков, движение по которым должно осуществляться с пониженными скоростями, что не позволяет обеспечить расчётную пропускную способность и одинаковую степень безопасности.

Общий вид зависимостей скорости транспортных потоков и количества дорожно-транспортных происшествий от интенсивности движения имеет вид (рисунок 1.2).

Рассмотрим его детально.

При весьма малых интенсивностях движения действия водителей определяются лишь восприятием ими дорожной обстановки. Каждый водитель избирает скорость движения по дороге, соответствующую его индивидуальным наклонностям, практически не испытывая при этом помех со стороны других попутных или встречных автомобилей.

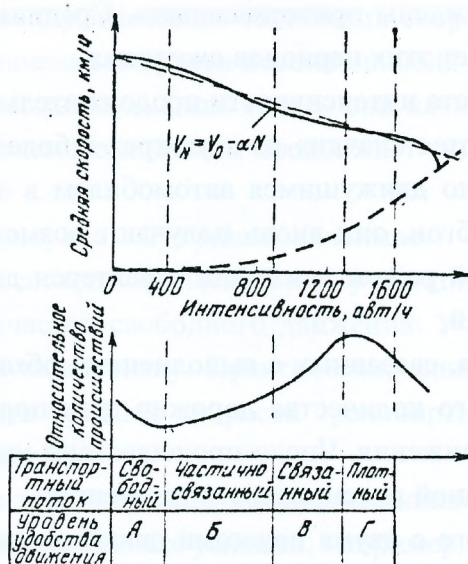


Рисунок 1.2 Влияние интенсивности движения на среднюю скорость потока автомобилей и количество дорожно-транспортных происшествий.

Отдельные водители, развивающие чрезмерную скорость, едут с повышенным риском происшествий, особенно на опасных участках дороги с ограниченной видимостью, с узкими мостами, недостаточной шириной проезжей части, неровностями на покрытии и т.д. Двигаясь с высокой скоростью при пониженном внимании, водитель не всегда может своевременно реагировать на ухудшение дорожных условий при въезде на такой участок.

Такой режим движения по дороге принято называть свободным. Он характерен только для весьма ограниченной группы дорог, например подъездов к малым населенным пунктам хуторского типа, а также для периодов спада движения на дорогах в ночные и предутренние часы.

При благоприятных дорожных условиях скорость автомобиля практически постоянна.

По мере возрастания интенсивности движения по дороге водители начинают ощущать влияние других автомобилей, вынуждающее их временами изменять режимы движения. При встречах происходит некоторое снижение скоростей.

Увеличение вероятности появления встречных автомобилей и вообще наличие движения по дороге активизирует водителей. Управление автомобилями начинает осуществляться более внимательно, и относительное количество происшествий до интенсивностей примерно 500-600 авт/сут снижается на дорогах с проезжей частью с двумя полосами движения.

При дальнейшем повышении интенсивности движения количество автомобилей в пределах участка дороги, видимого водителем, увеличивается. Для обгона ему приходится выбирать подходящий момент, когда на полосе движения, в зоне, необходимой для осуществления обгона, отсутствует встречный автомобиль. Обгон «с ходу», без предварительной подготовки и выравнивания скоростей движения становится невозможным, и схема обгона меняется. Водителям наиболее быстрых автомобилей приходится, приблизившись к обгоняемому автомобилю, снижать скорость до равной с ним и осуществлять обгон только дождавшись подходящего момента. При обгоне, совершаемом с повышенным риском, водители

встречных автомобилей вынуждены притормаживать. Средняя скорость транспортного потока начинает снижаться за счет этих периодов ожидания.

По мере дальнейшего роста интенсивности продолжительность ожидания возможности обгона увеличивается. Создаются «пачки» из двух-трех и более автомобилей, следующих на малом расстоянии за медленно движущимся автомобилем в ожидании момента, удобного для обгона. Совершив этот обгон, они вновь получают возможность движения с режимом одиночного автомобиля. Такой режим движения характерен для так называемого частично связанного потока автомобилей.

Необходимость маневров, связанных с выполнением обгонов, приводит к постепенному увеличению относительного количества дорожно-транспортных происшествий по мере возрастания интенсивности движения. Число происшествий увеличивается примерно прямо пропорционально среднесуточной интенсивности движения.

При достижении на дороге с двумя полосами движения интенсивности 5–6 тыс. авт/сут (значения, при превышении которого технические условия большинства стран предусматривают необходимость перевода дороги в категорию автомобильных магистралей с отдельными проезжими частями для движения в разных направлениях) условия для осуществления обгонов значительно затрудняются. Все автомобили оказывают взаимное влияние, и сразу после обгона одиночного автомобиля или пачки автомобилей режим движения обогнавшего автомобиля вновь начинает зависеть от едущих перед ним автомобилей. Условия обгона сильно осложняются, и водитель, желающий обогнать едущие перед ним автомобили, должен ожидать интервала достаточной продолжительности между проездами автомобилей по встречной полосе движения. Скорость каждого автомобиля становится переменной, колеблясь в интервале от скорости наиболее тихоходных автомобилей транспортного потока до скорости, необходимой для их обгона в условиях малых интервалов во встречном потоке автомобилей.

Чем выше интенсивность движения, тем реже встречаются такие интервалы и с тем большим риском совершаются обгоны. Близкий к прямолинейному характер зависимости между относительным числом дорожно-транспортных происшествий и среднесуточной интенсивностью движения нарушается, и график приобретает очертание быстро возрастающей кривой. Такой транспортный поток принято называть связанным. Из-за помех при осуществлении обгонов средняя скорость его снижается по мере роста интенсивности практически по прямолинейной зависимости. Наступает момент, когда обгоны становятся возможными только с повышенным риском. При этом обгоняющий автомобиль вносит помехи в движение встречного потока автомобилей, вынужденных снижать скорость, а иногда и интенсивно тормозить и даже съезжать на обочину. Количество водителей, идущих на такой риск, быстро уменьшается. Этот режим движения соответствует сравнительно узкому интервалу интенсивностей движения, при котором относительное количество дорожно-транспортных происшествий достигает максимума.

Дальнейшее увеличение интенсивности движения по дороге возможно только за счет повышения плотности транспортного потока, без обгонов, путем уменьшения величины интервалов между следующими друг за другом автомобилями, образующими колонну. При таком режиме движения разница в скоростях движения автомобилей, следующих в транспорт-

ном потоке, образующем колонну, невелика. Колебания скоростей движения отдельных автомобилей около среднего значения скорости потока приводят к изменениям расстояний между автомобилями и гасятся водителями, как только они начинают угрожать опасной ситуацией. Скорость потока, называемого плотным продолжает снижаться. Количество происшествий уменьшается.

Как видно из графика (рисунок 1.2) кривая зависимости средней скорости от интенсивности транспортного потока состоит из нескольких участков, различающихся по наклону. Наименьший наклон имеет участок свободного движения. Участок устойчивого транспортного потока имеет наибольшую крутизну. Практически, однако, с весьма малой погрешностью всю кривую зависимости средней скорости транспортного потока от интенсивности движения заменяют одной прямой.

Дальнейшее насыщение транспортного потока, возможное, не только при росте интенсивности, но и при ухудшении дорожных условий, например, при въезде на узкий мост или на ремонтируемый участок дороги с ограниченной шириной проезжей части, приводит к «затору движения», характеризующему тем, что движение потока приобретает прерывистый характер. На подходе к месту затора создается очередь, нарастающая за счет подъезжающих автомобилей. Пропускная способность дороги снижается. Одновременно уменьшается и количество дорожно-транспортных происшествий, причем резко снижается их тяжесть.

Предыдущие рассуждения относились к случаям, когда начальная скорость движения одиночного автомобиля при свободном режиме не ограничивалась дорожными условиями. В действительности дороги состоят из участков, различающихся по обеспечиваемым скоростям движения. Скорость движения может ограничиваться недостаточной шириной проезжей части, влиянием опор пересекающих дорогу путепроводов, большими продольными уклонами на участках подъемов, кривыми малых радиусов в плане и т. д. Все эти факторы отражаются на режимах движения транспортного потока.

Следует различать случаи, когда изменение режима связано с особенностями восприятия водителями дорожных условий и когда оно зависит от различия в динамических качествах автомобилей транспортного потока. Водители снижают скорости движения на узкой проезжей части, в местах скопления людей на обочинах, на пересечениях в одном уровне, на кривых малого радиуса и т.д. Во всех этих случаях причиной снижения скорости является трудность для водителя вести автомобиль с высокой скоростью в осложнившихся условиях и необходимость обеспечить безопасность движения.

Причиной снижения скорости транспортного потока на сложных участках дороги является уменьшение скорости водителями отдельных автомобилей. Хотя у едущих сзади и возникает потребность обгона, они не могут осуществить его в этих условиях. Поэтому можно считать, что снижение средней скорости транспортного потока в неблагоприятных дорожных условиях пропорционально уменьшению скорости одиночных автомобилей в тех же условиях. Очевидно, что в этом случае способы повышения скоростей движения транспортного потока нужно искать в коренном улучшении дорожных условий, устраняя причины, вынуждающие снижать скорость.

Иное решение проблемы необходимо, когда нарушение однородности транспортного потока связано с низкими динамическими факторами автомобилей, например, при движении

на подъеме. Резкое снижение скорости грузовых автомобилей и особенно автопоездов на крутых подъемах вызывает потребность их обгона практически всеми автомобилями.

На коротких подъемах, в конце которых часто бывает недостаточная видимость, обгоны создают повышенную опасность дорожно-транспортных происшествий. На длинных затяжных подъемах, которые легковые автомобили с большим запасом силы тяги могут преодолевать с высокими скоростями, возможность обгонов исчерпывается даже при сравнительно небольшой интенсивности движения. В этом случае повысить скорость движения можно только путем выделения из транспортного потока его наиболее медленной части на специально устраиваемую дополнительную полосу для движения на подъем.

1.5 Снижение безопасности при возрастании интенсивности движения

На каждом участке дороги опасность дорожно-транспортных происшествий увеличивается с ростом интенсивности движения. Степень опасности того или иного участка дороги можно оценить, используя методику коэффициентов аварийности.

Степень опасности участков дороги оценивают при помощи линейного графика «итогового коэффициента аварийности», вычисляемого как произведение частных коэффициентов аварийности учитывающих влияние отдельных элементов плана и профиля:

$$K_{\text{итог}} = K_1 K_2 K_3 \dots K_{14} .$$

Частные коэффициенты $K_1, K_2, K_3, \dots, K_{14}$ представляют собой отношения количества дорожно-транспортных происшествий при той или иной величине элемента плана или профиля к количеству происшествий на эталонном прямом участке дороги с проезжей частью шириной 7,5 м и с твердыми широкими обочинами.

Поскольку некоторые из этих характеристик меняются в разные сезоны года, в значения осреднённых коэффициентов аварийности целесообразно вводить сезонные коэффициенты, отражающие влияние изменений дорожных условий.

Однако для проектирования мероприятий по реконструкции достаточно оценивать дорогу основными коэффициентами аварийности.

Используемая в настоящее время методика коэффициентов аварийности предусматривает 14 частных коэффициентов аварийности. Их перечень не является исчерпывающим. Для дорог в сложных природных условиях могут быть предложены на основе статистики дорожно-транспортных происшествий дополнительные коэффициенты.

Для определения коэффициентов аварийности строят линейный график дороги (рисунок 1.3).

На график наносят план и профиль, выделяя на них все элементы, влияющие на безопасность движения (продольные уклоны, вертикальные кривые, кривые в плане, мосты, пересекающие дороги, населенные пункты и т.д.). В особой графе указывают расстояние видимости. Масштаб плана и профиля, а также самого графика выбирают в зависимости от сложности ситуации. Под планом и профилем выделяют графы для каждого из учитываемых показателей.

Дорогу анализируют по каждому из влияющих на безопасность факторов, выделяя однородные участки. При назначении их границ учитывается также, что влияние каждого из мест, где возникают те или иные помехи движению, распространяется на некоторое расстояние. Величина его может быть оценена как зона снижения скорости на эпюре скоростей движения.

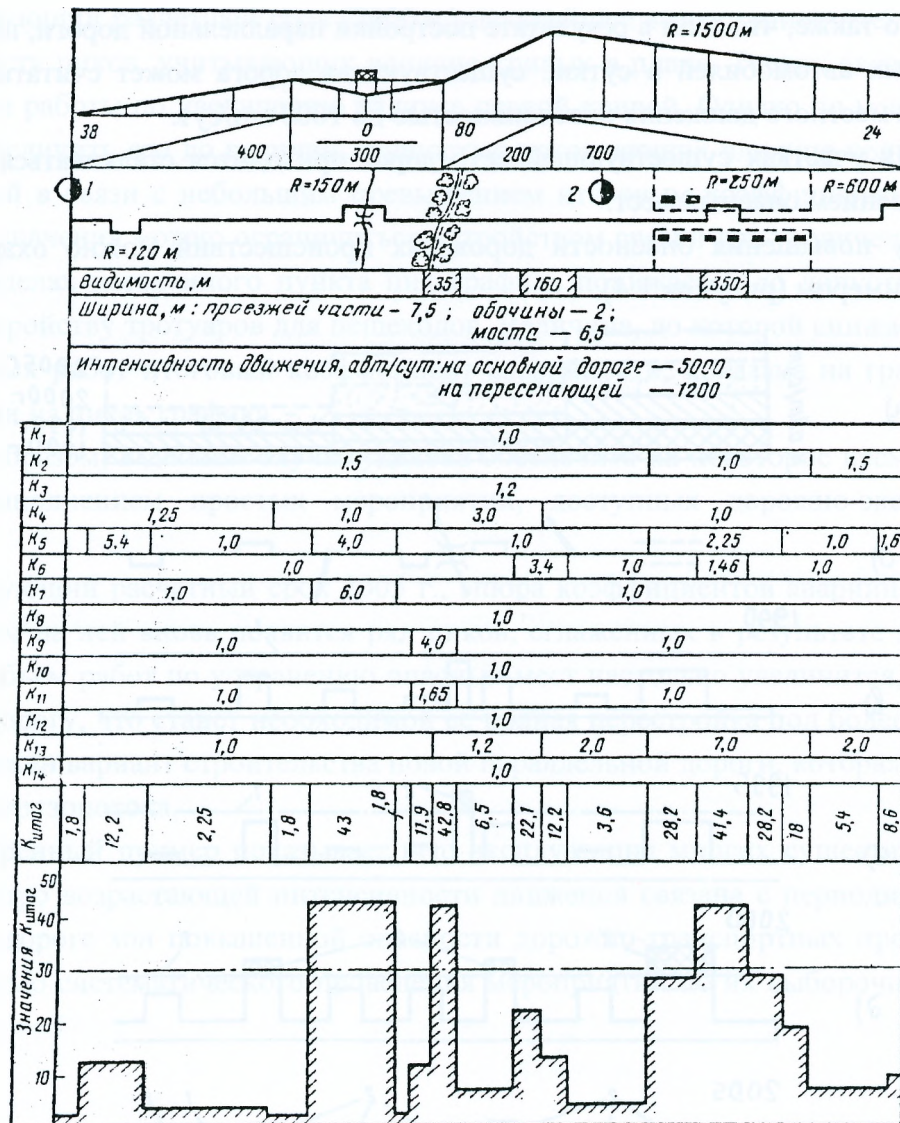


Рисунок 1.3 Пример графика коэффициентов аварийности.

Границы каждого из выделенных участков указывают в соответствующей графе, выписывая из таблиц соответствующие значения коэффициентов аварийности. Итоговый коэффициент аварийности определяют перемножением частных коэффициентов.

Опасными принято считать участки, имеющие итоговый коэффициент аварийности более 20 в равнинной однообразной местности и 40 условиях пересеченного рельефа, где водители ездят с большей осторожностью. Такие участки желательно перестраивать в процессе реконструкции или капитального ремонта.

График коэффициента аварийности позволяет наметить мероприятия по повышению безопасности движения и оценить их сравнительную эффективность. Так, например, замена моста многоочковой трубой делает это место дороги практически безопасным.

Безопасность на пересечении с местной дорогой может быть достигнута вырубкой нескольких деревьев аллеи, чтобы видимость увеличилась до 60 м.

В населенном пункте увеличение радиуса кривой до 600 м снижает степень опасности проезда этого участка до уровня, характерного для остальной части деревни.

Интересно также, что если в результате постройки параллельной дороги, на нее перейдет 4000 транзитных автомобилей в сутки, существующая дорога может считаться достаточно безопасной для местного движения интенсивностью до 1000 авт/сут.

На многих участках существующей сети дорог приходится сталкиваться с периодическим возникновением опасных мест.

Динамику повышения опасности дорожных происшествий можно охарактеризовать следующим примером (рисунок 1.4).

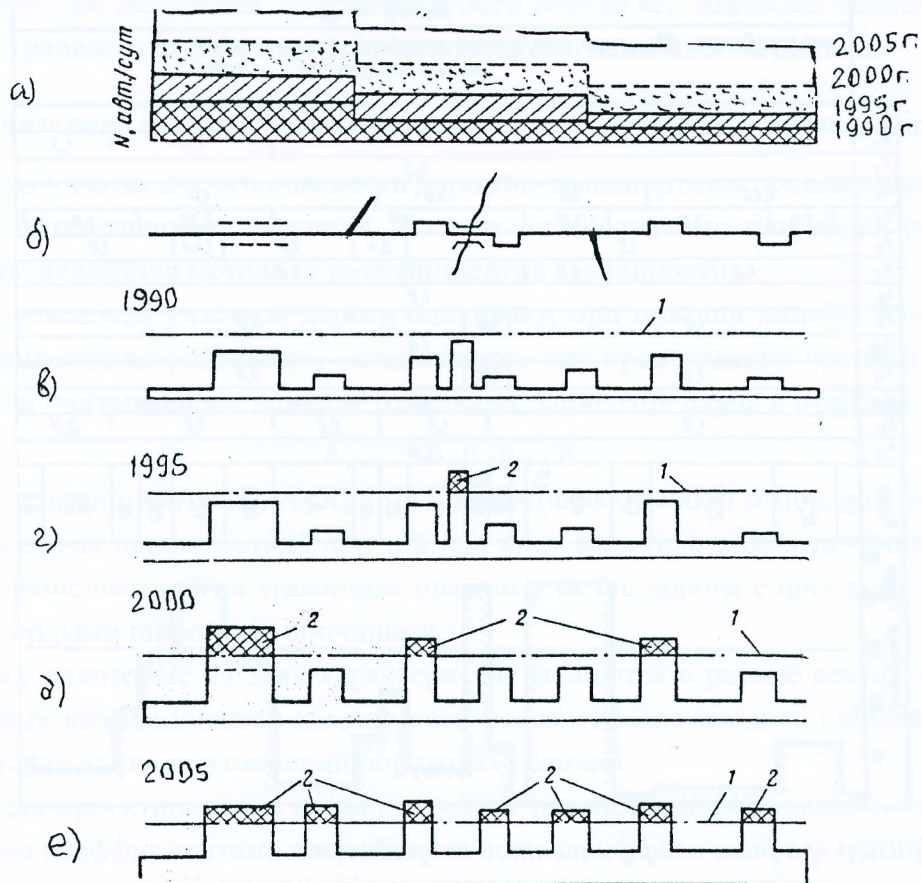


Рисунок 1.4 Последовательное возникновение на дороге опасных мест при росте интенсивности движения: а – эпора интенсивности движения в разные годы; б – план трассы; в-е – эпоры итоговых коэффициентов аварийности в разные годы; 1 – предельное допустимое значение итогового коэффициента аварийности; 2 – участки, на которых итоговый коэффициент аварийности превышает допустимое значение.

Проанализируем эпору итоговых коэффициентов аварийности на исходный период (1990 г). Видим, что все пики графика итоговых коэффициентов аварийности расположены ниже верхнего предела его допустимых значений. На дороге требовалось лишь выполнение работ по содержанию и простейших мероприятий по организации движения (разметка, правильная расстановка дорожных знаков). К 1995 г. интенсивность движения возросла. На графике коэффициентов аварийности ордината влияния моста превысила допустимое значение, и потребовалась реконструкция этого участка. Наиболее целесообразна замена моста многоочковой трубой с уширением земляного полотна, что полностью «срезает» пик на графике.

На следующий расчетный срок (2000 г.) дальнейшее возрастание интенсивности снова привело к росту пиков, учитывающих влияние кривых в плане. Теперь окажется необходимым провести работы по увеличению радиуса первой кривой. Однако по местным условиям не удастся увеличить его до величин, полностью устраняющих влияние кривой в плане. На второй кривой в связи с небольшим превышением итоговым коэффициентом аварийности предельного значения можно ограничиться устройством срезки для увеличения видимости в плане. В пределах населенного пункта пик графика понижается до допустимого значения благодаря устройству тротуаров для пешеходов. Величина, до которой снижается в результате проведенных работ итоговый коэффициент аварийности, показана на графике пунктирными линиями на пиках графика.

Таким образом, в данном случае удалось обеспечить на некоторое время безопасность движения выполнением простых мероприятий, доступных дорожно-эксплуатационной службе.

На следующий расчетный срок 2005 г., эпоха коэффициентов аварийности снова возрастет, причем на ней вновь появится ряд пиков, сглаженных в результате предшествовавших работ. Объем работ по устранению опасных мест настолько увеличится, охватив по существу всю дорогу, что станет необходимой ее полная перестройка под более высокую категорию. Возможен вариант строительства новой параллельной дороги, которая восприняла бы на себя часть грузопотока.

Рассмотренный пример показывает, что эксплуатация многих существующих дорог в условиях быстро возрастающей интенсивности движения связана с периодическим возникновением на дороге зон повышенной опасности дорожно-транспортных происшествий и с необходимостью систематического проведения мероприятий по их выборочной реконструкции.

2 Параметры, определяющие технические решения при реконструкции дорог

2.1 Пропускная способность существующих дорог и мероприятия по ее повышению при реконструкции

Как при проектировании, так и реконструкции автодорог большое значение имеет знание динамической теории транспортных потоков, которая позволяет осуществлять расчеты и прогнозы скоростей движения и пропускной способности.

Упрощенная динамическая модель имеет вид (в авт/с):

$$N = \frac{V}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4},$$

где V – скорость, м/с; l_1 – путь, проходимый за время реакции водителя, м; l_2 – тормозной путь, м; l_3 – длина автомобиля, м; l_4 – запас безопасности, м.

Возможная средняя скорость движения потока автомобилей в реальных условиях на дороге с двумя полосами движения определяется зависимостью

$$V_N = V_0 - \alpha N,$$

где V_0 – средняя скорость движения автомобилей в условиях свободного транспортного потока, км/ч; N – интенсивность движения по дороге в двух направлениях, авт/ч; α – коэффициент, зависящий от состава движения (α изменяется в пределах $\alpha = 0,008-0,018$).

Отсюда интенсивность, соответствующая возможной скорости V_N :

$$N = \frac{V_0 - V_N}{\alpha}.$$

Эти уравнения дают возможность оценить изменения пропускной способности при ухудшении дорожных условий (рисунок 2.1).

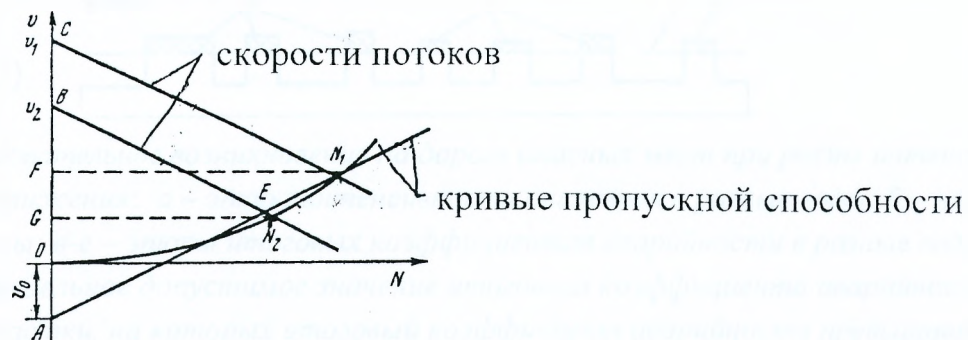


Рисунок 2.1 График для определения пропускной способности при ухудшении дорожных условий.

Заменяя теоретическую кривую прямой, можно получить зависимость для прироста пропускной способности при повышении скорости потока:

$$N_{v_2} = N_{v_1} \frac{(V_2 + V_0)}{(V_1 + V_0)},$$

где V_0 – отрезок, отсекаемый на оси ординат спрямляющей прямой AD.

Для ориентировочной оценки пропускной способности рекомендуется эмпирическая формула:

$$N_v = 0,21V_0q_{\max},$$

где V_0 – скорость движения одиночных автомобилей на данном участке дороги, км/ч; q_{\max} – максимальная плотность загрузки дороги движением, которую можно принять равной 90 авт/км.

Однако теоретические методы определения несущей способности используют редко. Чаще применяют практические методы, основанные на введении в величину пропускной способности поправочных коэффициентов, учитывающих ее снижение при ухудшении этих условий ($\beta_{\text{итог}}$) и этот коэффициент определяют как произведение ряда частных коэффициентов, т.е.

$$\beta_{\text{итог}} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_8.$$

Зная план и продольный профиль дороги, можно построить эпюру изменения пропускной способности по длине дороги, т.е. линейные графики, которые имеют вид (рисунок 2.2).

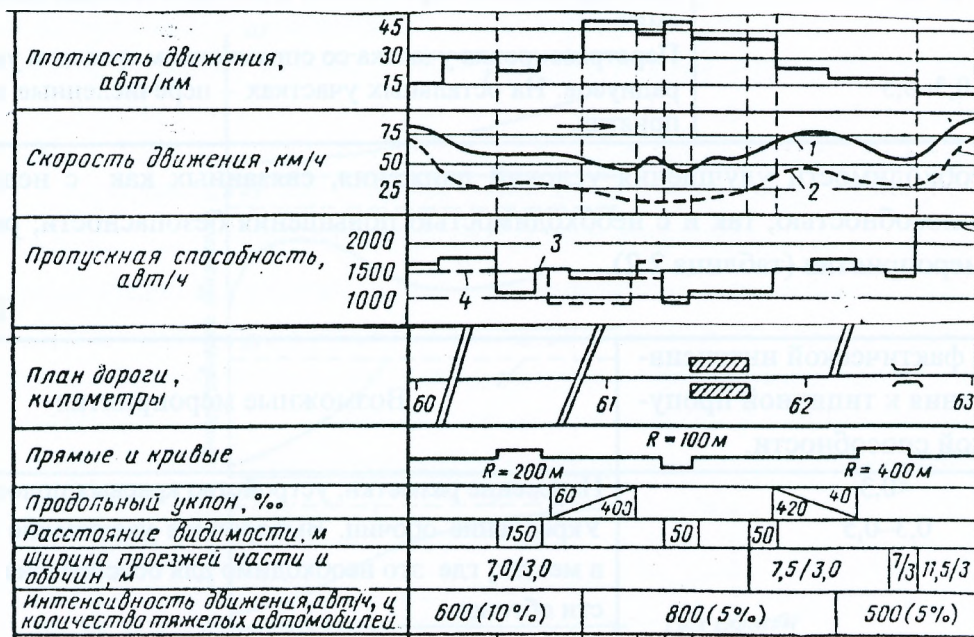


Рисунок 2.2 График изменения пропускной способности и скорости движения на участке дороги с переменной величиной элементов плана и профиля: 1 – скорость одиночных автомобилей; 2 – средняя скорость потока; 3 – пропускная способность при наличии разметки проезжей части и дорожных знаков; 4 – то же, при отсутствии разметки и знаков.

Тогда проект реконструкции дороги должен предусматривать комплекс мероприятий по устранению мест, вызывающих снижение пропускной способности, поскольку именно на них будут в первую очередь возникать заторы при дальнейшем росте интенсивности движения по дороге. При этом следует различать работы необходимые:

а) для обеспечения постоянства величины пропускной способности на всем протяжении дороги путем устранения мест возможных заторов;

б) для повышения безопасности ,когда интенсивность движения приближается к ее пропускной способности.

Для повышения пропускной способности отдельных участков дороги в целях выравнивания ее на всем протяжении возможны следующие мероприятия (таблица 2.1)

Таблица 2.1

Отношение пропускной способности данного участка к типичной для дороги	Работы по улучшению дороги
0,9–1,0	Выборочное уширение видимости. Устройство виражей и уширение проезжей части на кривых. Уширение узких мостов, укрепление обочин и удаление предметов, зрительно сужающих дорогу. Устройство срезок видимости и увеличение радиусов кривых в плане и профиле. Устройство переходно-скоростных полос на пересечениях в одном уровне. Дополнительно к перечисленным мероприятиям устройство канализированных пересечений и дополнительных полос на подъемах. Перетрассировка участка со спрямлением трассы и увеличением радиусов. На остальных участках – перечисленные выше мероприятия.
0,75–0,9	
0,5–0,75	
0,3–0,5	

При необходимости улучшения условий движения, связанных как с недостаточной пропускной способностью, так и с необходимостью повышения безопасности, реализуются следующие мероприятия (таблица 2.2).

Таблица 2.2

Отношение фактической интенсивности движения к типичной пропускной способности	Возможные мероприятия
<0,3	Нанесение разметки, устройство краевых полос. Укрепление обочин. Выборочное увеличение видимости в местах, где это необходимо для обеспечения возможности обгонов. Перестройка наиболее загруженных пересечений в одном уровне с заменой на кольцевые или канализированные. Устройство дополнительных полос на подъемах. Перечисленные мероприятия, а также уширение проезжей части с доведением ширины полосы движения до 3,75м. Снятие части движения на параллельную дорогу или перестройка существующей под более высокую категорию.
0,3–0,5	
0,5–0,75	
0,75–0,9	
0,9–1,0	

Иногда для повышения пропускной способности дороги уширение проезжей части осуществляют путем устройства третьей полосы движения за счет укладки покрытий на обочинах. Однако этот способ имеет много недостатков.

Действительно, третья полоса дает возможность существенно улучшить условия движения на дорогах со значительной суточной неравномерностью интенсивности движения, когда утром основной поток автомобилей идет в одном направлении, а вечером – в противо-

положном. В этом случае, вводя светофорное регулирование, можно выделять для преимущественного направления две полосы на проезжей части.

При равномерной интенсивности движения в двух направлениях третья полоса используется только для обгонов. Пока их частота невелика, примерно до интенсивности 9 тыс. авт/сут, пропускная способность дороги возрастает в 1,3-1,7 раза, а средняя скорость движения по дороге увеличивается. Число дорожно-транспортных происшествий по сравнению с числом происшествий на дорогах с двумя полосами движения снижается при равной интенсивности движения в 1,5-2 раза. Однако при больших интенсивностях движения (от 9 до 13 тыс. авт/сут) обгон по третьей полосе становится опасным из-за возможности столкновений с обгоняющими встречными автомобилями. Поэтому число происшествий быстро увеличивается – в 1,5-2 раза по сравнению с числом происшествий на двухполосной дороге, работающей с перегрузкой при равной интенсивности движения.

Следует также отметить, что характер любых дорожных работ, и тем более реконструкции, зависит от закономерностей нарастания интенсивности движения в процессе эксплуатации.

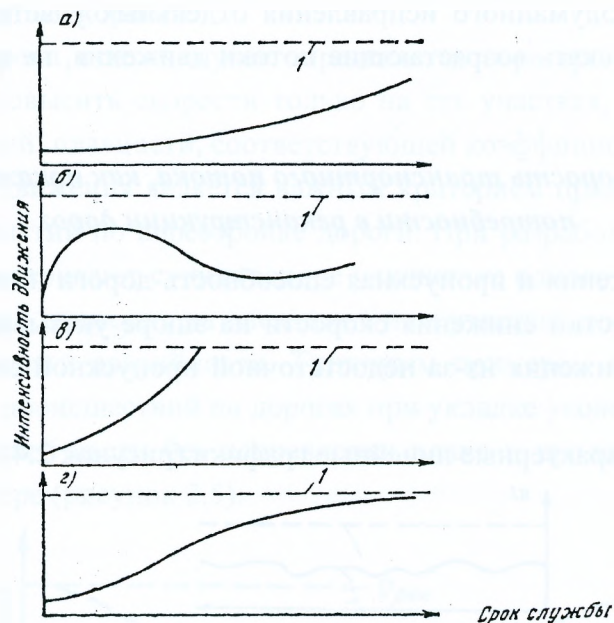


Рисунок 2.3 Различные случаи возрастания интенсивности движения по дороге: 1 – нормативная пропускная способность дороги.

Может встретиться несколько случаев, требующих различного решения этой проблемы (рисунок 2.3):

1) Равномерное или слегка замедленное возрастание интенсивности движения (а);

2) В период строительства интенсивность движения существенно выше, чем при последующей эксплуатации объекта, несмотря на то, что дорога начинает обслуживать и потребность развивающейся местной хозяйственной жизни пересекаемого района (б). Этот случай характерен для дорог на строящихся промышленных и гидротехнических объектах. За пределами расчетного срока или в его конце возможен новый прирост интенсивности движения, связанный с развитием промышленности в зоне, обслуживаемой дорогой.

3) Весьма быстрое возрастание интенсивности движения часто опережает технико-экономические прогнозы (в). Этот случай будет характерен в ближайшие годы для магистральных дорог.

4) Быстрый вначале, а затем более медленный рост интенсивности движения с достижением верхнего предела пропускной способности к концу второго расчетного срока (г).

Улучшение и перестройка отдельных участков дорог потребуется во всех рассмотренных случаях, но характер проводимых мероприятий будет существенно различаться.

В первом случае возможно исправление дорожно-эксплуатационной службой отдельных неудачных мест – случайных просчетов проектировщиков или сознательно допущенных по соображениям экономии средств неудачных элементов трассы, ухудшающих транспортные качества дороги.

В третьем случае потребуется коренная перестройка дороги, так как быстрый рост движения через самое непродолжительное время приведет к возникновению заторов движения. Значительное распространение получит строительство новых параллельных дорог.

Четвертый случай не требует немедленной перестройки дороги на всем протяжении. Путем постепенного продуманного исправления отдельных участков дороги можно будет длительное время пропускать возрастающие потоки движения, не проводя капитальной перестройки всей дороги.

2.2 Скорость транспортного потока, как показатель потребности в реконструкции дорог

Безопасность движения и пропускная способность дороги непосредственно зависят от скорости движения. Участки снижения скорости на эюре указывают места, не удовлетворяющие требованиям движения из-за недостаточной пропускной способности и безопасности движения.

Проанализируем характерные линейные графики (рисунок 2.4).

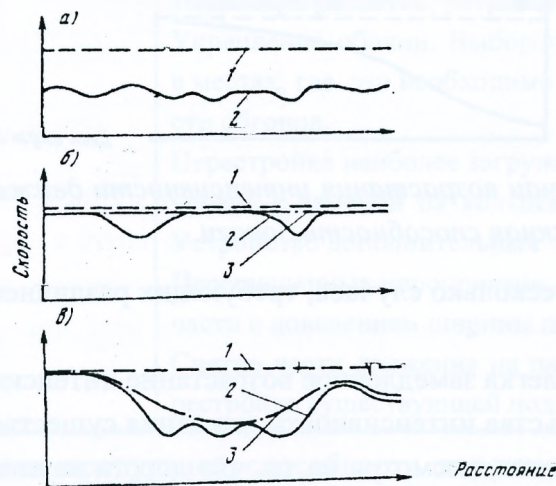


Рисунок 2.4 Характерные эиоры скоростей движения по дороге: 1 – расчетная скорость; 2 – фактическая скорость движения по дороге; 3 – скорость, обеспечиваемая при реконструкции.

Как видно из графика места понижений на эпюре скоростей движения по дороге могут быть вызваны разными причинами:

а) общей сложностью рельефа и ситуации местности, из-за которых дорогу пришлось строить по пониженным техническим нормативам. Количество дорожных происшествий на таких дорогах бывает относительно невелико.

Наиболее эффективные решения – постройка новой параллельной дороги, перестройка существующей дороги под расчетную скорость или повышение пропускной способности существующей дороги без повышения расчетной скорости;

б) на дороге, на большей части протяжения которой обеспечиваются высокие скорости движения, близкие к расчетным, имеются отдельные места, проезжаемые с пониженной скоростью. При реконструкции эти участки должны быть капитально перестроены, причем критерием проводимых мероприятий должно быть выравнивание эпюры скорости с обеспечением постоянства ее значения по всему протяжению дороги;

в) трудные и неоднородные условия рельефа и ситуации обуславливают эпюру скоростей движения, на которой участки высокой скорости сочетаются со значительными по протяжению местами снижения скорости.

Реконструкция дороги в этом случае определяется перестройкой отдельных участков таким образом, чтобы повысить скорости только на тех участках, где это необходимо для придания эпюре скоростей плавности, соответствующей коэффициенту безопасности 0,8.

Эпюра скоростей движения является важным критерием правильности и экономичности намечаемых мероприятий по перестройке дороги. При разработке проектов реконструкции дорог часто предусматривают существенное улучшение одного элемента дороги без учета его влияния на условия движения на смежных с ним участках дороги. В результате на дороге возникают новые очаги аварийности. Типичным примером являются случаи резкого возрастания количества происшествий на дорогах при укладке усовершенствованных покрытий с уширением проезжей части без исправления плана и продольного профиля дороги. Рассмотрим это на примере (рисунок 2.5).

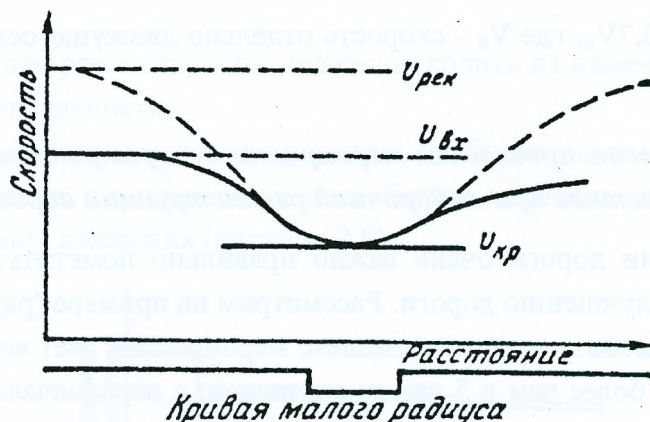


Рисунок 2.5 Изменение скоростей движения одиночного автомобиля по дороге у кривой малого радиуса в плане до и после реконструкции.

2.3 Выбор расчетной скорости движения на реконструируемых дорогах

Расчетная скорость при реконструкции выбирается с учетом особенностей движения на дороге и необходимых для ее обеспечения объемов работ.

Как показывает практика, относительная эффективность улучшения условий движения по мере возрастания расчетной скорости снижается, так как объемы работ растут непропорционально достигаемому эффекту.

Необходимый минимальный объем работ по улучшению дороги, определяется требованиями безопасности движения. Отсюда требование изменения эпюры скоростей движения таким образом, чтобы коэффициент безопасности был не менее 0,8, является минимальным и обязательным к выполнению. Однако оптимальное решение может соответствовать в зависимости от местных условий и большим скоростям. Как обычно, наивыгоднейшая расчетная скорость при реконструкции соответствует минимуму суммарных расходов на перевозки и строительных затрат на реконструкцию за нормативный период окупаемости, отнесенных к одному автомобилю.

Общий вид графика для определения расчетной скорости при реконструкции имеет вид (рисунок 2.6).

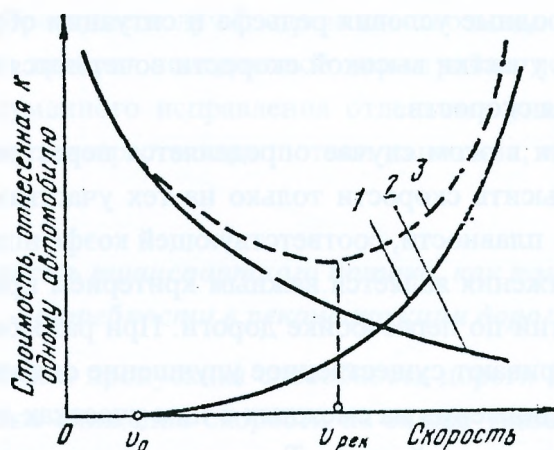


Рисунок 2.6 График для определения расчетной скорости при реконструкции участка дороги: 1 — строительные затраты; 2 — стоимость перевозок, включая и потери от дорожно-транспортных происшествий; 3 — суммарные затраты на перевозки.

Обычно $V_{рек} = 0,5-0,7V_0$, где V_0 — скорость отдельно движущегося автомобиля в свободных условиях.

2.4 Очередность проведения мероприятий по устранению опасных участков при выборочной реконструкции дороги

При реконструкции дороги очень важно правильно пометить оптимальную очередность мероприятий по улучшению дороги. Рассмотрим на примере (рисунок 2.7).

Таким образом, рассматриваемый комплекс мероприятий дает возможность снизить количество происшествий более чем в 5 раз по сравнению с первоначальным. Несомненно, что при этом повысится и скорость движения.

Для выявления опасных участков проще всего использовать график итогового коэффициента аварийности, пики которого характеризуют наиболее опасные участки. Те из них, на которых по данным статистики за последние годы сосредоточивались происшествия, видимо, являются наиболее опасными в конкретных условиях рассматриваемой дороги.

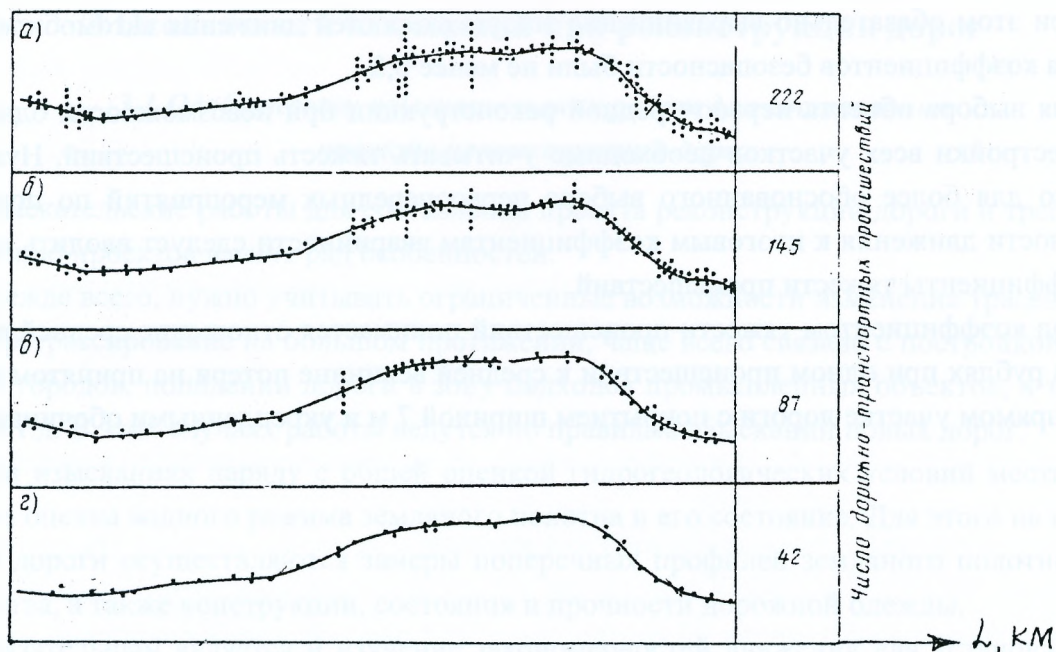


Рисунок 2.7 Динамика количества происшествий на дороге за счет последовательно проводимых мероприятий по улучшению режима движения: а) все виды дорожно-транспортных происшествий; б) происшествия после устранения с дороги пешеходов и велосипедистов; в) происшествия после устройства пересечений в разных уровнях; г) происшествия после устройства разделительной полосы и запрещения стоянки автомобилей.

Участки резкого снижения скоростей, ухудшающие эффективность использования дороги, могут быть также выявлены и по эпюре коэффициентов безопасности, хотя, как правило, наиболее опасные участки на обоих графиках совпадают. Однако график коэффициентов аварийности позволяет выявить большее количество потенциально опасных участков, которые при имеющейся на дороге интенсивности движения еще не сказываются на условиях движения.

Выбор участков для реконструкции должен исходить из намечаемых сроков ее осуществления и степени капитальности.

В первую очередь реконструкции подлежат: наиболее опасные места концентрации происшествий места; места, где пропускная способность дороги недостаточна, возникают заторы и сильные стеснения движения (рисунок 2.8).

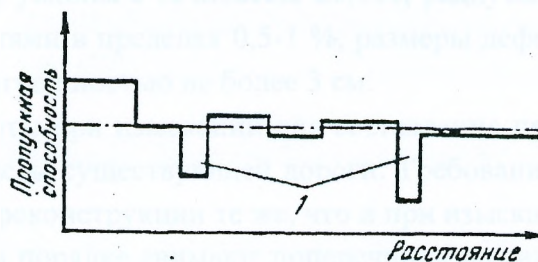


Рисунок 2.8 Устранение при реконструкции участков с пониженной пропускной способностью: 1 – участки, нуждающиеся в повышении пропускной способности.

При этом обязательно выравнивание эпюры скоростей движения автомобилей, чтобы значения коэффициентов безопасности были не менее 0,8.

Для выбора объекта первоочередной реконструкции при невозможности одновременной перестройки всех участков необходимо учитывать тяжесть происшествий. Нужно помнить, что для более обоснованного выбора первоочередных мероприятий по повышению безопасности движения к итоговым коэффициентам аварийности следует вводить поправочные коэффициенты тяжести происшествий.

Под коэффициентом тяжести происшествий понимается отношение средней величины потери в рублях при одном происшествии к средней величине потери на принятом за эталон ровном прямом участке дороги с покрытием шириной 7 м и укрепленными обочинами.



Рис. 2. Средняя скорость движения автомобилей на участке с длиной L км. V – средняя скорость движения автомобилей, км/ч. L – длина участка, км. $V_{\text{эталон}}$ – средняя скорость движения автомобилей на эталонном участке, км/ч. $V_{\text{факт}}$ – фактическая средняя скорость движения автомобилей на участке, км/ч.

Учитывая, что коэффициент безопасности зависит от скорости движения автомобилей, то для выбора участка для первоочередной реконструкции необходимо учитывать не только коэффициент аварийности, но и коэффициент тяжести происшествий.

При этом коэффициент безопасности должен быть не менее 0,8.

Для выбора участка для первоочередной реконструкции необходимо учитывать не только коэффициент аварийности, но и коэффициент тяжести происшествий.

При реконструкции участка длиной L км необходимо учитывать не только коэффициент аварийности, но и коэффициент тяжести происшествий.

Таким образом, для выбора участка для первоочередной реконструкции необходимо учитывать не только коэффициент аварийности, но и коэффициент тяжести происшествий.

Для выбора участка для первоочередной реконструкции необходимо учитывать не только коэффициент аварийности, но и коэффициент тяжести происшествий.

Таким образом, для выбора участка для первоочередной реконструкции необходимо учитывать не только коэффициент аварийности, но и коэффициент тяжести происшествий.

3 Особенности изысканий при реконструкции дорог

3.1 Особенности изыскательских работ для составления проекта реконструкции дорог

Изыскательские работы для составления проекта реконструкции дороги и требования к оформлению проектов имеют ряд особенностей.

Прежде всего, нужно учитывать ограниченные возможности изменения трассы.

Перетрассирование на большом протяжении, чаще всего связано с постройкой обходов больших городов, попадании дороги в зону подходов промышленных объектов, в зону затопления и т.д. В этих случаях работы ведутся по правилам изысканий новых дорог.

При изысканиях наряду с общей оценкой гидрогеологических условий местности необходима оценка водного режима земляного полотна и его состояние. Для этого на всем протяжении дороги осуществляются замеры поперечных профилей земляного полотна, оценка его качества, а также конструкции, состояния и прочности дорожной одежды.

Обязательным является и изучение закономерностей движения для установления степени ее соответствия требованиям движения, выявления опасных участков, мест с недостаточной пропускной способностью, неправильно расположенных съездов и примыканий и т.д.

Необходимо также изучить мосты и другие инженерные сооружения с точки зрения возможности дальнейшего использования.

Изыскания для реконструкции дорог должны производиться в тесном контакте с работниками дорожно-эксплуатационной службы.

При разработке календарных планов проведения полевых работ необходимо учитывать, что некоторые из них эффективны только при выполнении в строго ограниченные во времени сроки и особенно – оценка прочности дорожной одежды, выявление пучинистых участков и проверка обеспеченности водоотвода.

3.2 Полевые работы на изысканиях для реконструкции дорог

Полевые работы на изысканиях для реконструкции приходится выполнять без перерыва движения по дороге, что создает повышенную опасность дорожно-транспортных происшествий и помехи для проведения геодезических съемочных работ.

Поэтому для разработки проектов реконструкции автомобильных дорог широко используют аэрометоды. Они позволяют установить величины рабочих отметок с погрешностями 5-10 см, продольные уклоны с точностью $\pm 0,001$, радиусы кривых в плане и продольном профиле с погрешностями в пределах 0,5-1 %, размеры деформаций земляного полотна и дорожных покрытий с погрешностью не более 3 см.

Любые полевые работы при изыскании для составления проекта реконструкции начинаются с восстановления трассы существующей дороги. Требования к точности геодезических работ при изысканиях для реконструкции те же, что и при изысканиях новых дорог.

Затем в обязательном порядке снимают поперечники на каждом пикете, в местах перехода из выемок в насыпи, в переломных точках рельефа местности, на подходах к искусственным сооружениям и по осям съездов и пересечений в одном уровне. При однообразии рельефа местности число поперечников может быть уменьшено, но не менее чем до пяти на

километр. При этом поперечник должен охватывать всю полосу отвода, но не менее 20 м в каждую сторону от оси дороги.

Большое значение имеет и обследование системы водоотвода, цель которого установить соответствует ли она притоку воды к дороге и справляется ли с ее своевременным отводом.

Для грунтовых и гидрогеологических обследований земляного полотна на обочинах закладывают шурфы и буровые скважины. В равнинном рельефе при однородных грунтовых напластованиях на 1 км дороги закладывают одну-две буровые скважины глубиной до 2 м. Скважина должна пройти через насыпь и углубиться в грунт основания не менее чем на 1 м. На участках со сложными грунтовыми и гидрогеологическими условиями, а также в местах, где проявляются деформации земляного полотна, их количество назначают в требуемом объеме.

Самостоятельным разделом изысканий для реконструкции является обследование полосы отвода. Нужно установить фактически оформленную полосу отвода и выяснить возможность доведения ее ширины до соответствующей перспективной категории реконструируемой дороги. Должны быть исследованы примыкающие полевые дороги и составлена или получена в местных дорожных и сельскохозяйственных организациях схема их сети, чтобы можно было разработать обоснованный проект размещения примыканий, устраняющий малоиспользуемые и случайно возникшие съезды. Необходимо выявить все предметы на придорожной полосе, ограничивающие видимость или препятствующие уширению дороги.

3.3 Обследование дорожных одежд

На участках реконструируемых дорог, на которых трасса не меняется в плане и продольном профиле, должны быть проверены размеры конструктивных слоев и прочность существующей дорожной одежды в расчете на возможность пропуска по ней перспективного движения.

Исходными данными при обследованиях служит документация, получаемая в дорожно-эксплуатационных организациях.

Для определения фактической ширины покрытия на обочинах отрывают поперечные ровики шириной 0,2-0,25 м, что дает возможность избежать ошибок из-за загрязнения краев дорожной одежды и скатывания материала покрытий на обочину.

Для определения характеристик материалов, размеров и состояния конструктивных слоев существующей дорожной одежды бурят скважины \varnothing 10-15 см или пробивают вручную лунки \varnothing 20-30 см. Эти выработки закладывают на поперечниках. Поперечники назначают в зависимости от типа дорожной одежды и частоты изменения ее конструкции через 100–400 м.

Наиболее эффективны обследования дорожной одежды в периоды ее наименьшей прочности – весной и осенью.

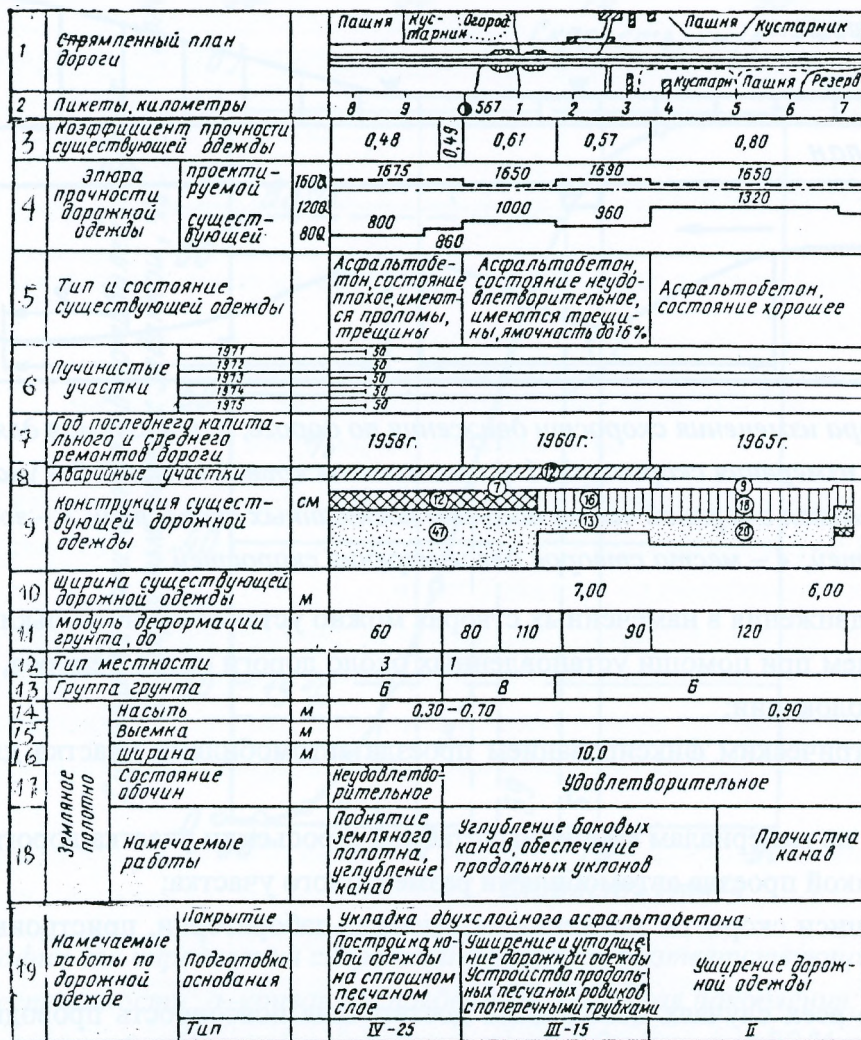
Использование для оценки прочности дорожных одежд расчетных методов требует надежного знания характеристик прочности материалов отдельных конструктивных слоев. Поэтому наибольшее распространение получает метод непосредственного определения прочности дорожной одежды пробными нагрузками.

Испытания прочности дорожных одежд проводят на участках, однородных по конструкции через каждые 200-250 м. На каждом участке измеряют прогиб в двух-трех точках через 5-10 м вдоль дороги на полосе наката. Если величины прогибов в двух смежных точках покрытия отличаются не более чем на 10-15 %, за характеристику прочности принимают среднее, а при большем расхождении проводят третье дополнительное измерение в точке, отстоящей от первых двух на 5-10 м.

Прочность дорожной одежды, характеризуемую эквивалентным модулем упругости, определяют по формулам теории расчета дорожных одежд по упругим деформациям.

Конечным итогом определения прочности дорожной одежды должен быть график эквивалентных модулей упругости существующей одежды и схемы необходимого ее усиления.

Рассмотрим общий вид такого графика (рисунок 3.1).



Условные обозначения:



Рисунок 3.1 Линейный график прочности дорожной одежды: 1 – асфальтобетон; 2 – мостовая; 3 – щебень; 4 – песок; 5 – требуемый модуль упругости (МПа); 6 – эквивалентный модуль упругости существующей дорожной одежды (МПа); 7 – энтура прочности проектируемой дорожной одежды (МПа); 8 – аварийный участок и количество ДТП за последний год.

3.4 Измерение скоростей движения автомобилей на дороге

Большое значение, которое имеет эпюра скоростей движения по дороге для разработки проектных решений по реконструкции, требует очень внимательного отношения к сбору данных о закономерностях движения по дороге. Надежные значения можно получить только при достаточном числе измерений и правильном выборе мест расположения наблюдательных створов. Расположение створов должно позволить при минимально необходимом их количестве уловить все наиболее характерные места на эпюре скоростей движения. Поэтому створы для измерения скоростей следует назначать в местах, где скорости постоянны или имеют максимальные и минимальные значения («пики» и «провалы» на эпюре скоростей).

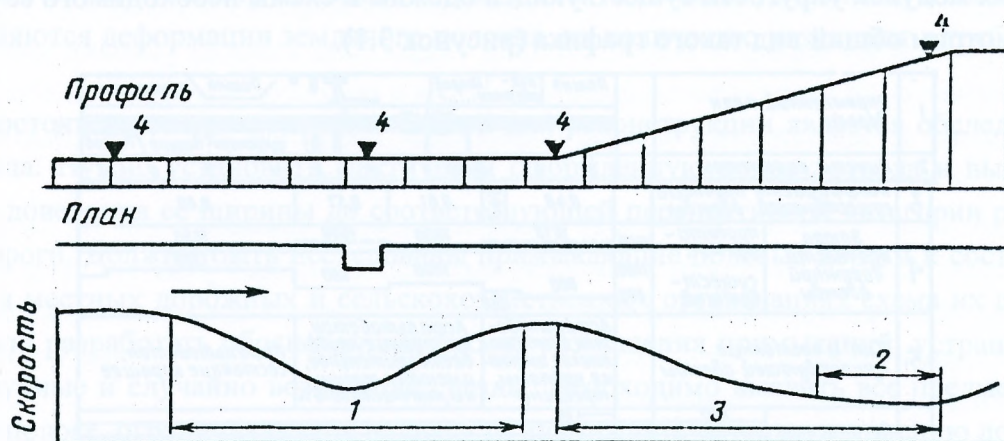


Рисунок 3.2 Эпюра изменения скорости движения по дороге, используемая для выбора створов измерения скоростей: 1 – зона влияния кривой в плане; 2 – участок установившихся в верхней части подъема постоянных скоростей; 3 – зона влияния скоростей; 4 – места створов для измерения скоростей.

Скорости движения в намеченных створах можно установить несколькими способами:

- измерением при помощи установленных около дороги скоростемеров, основанных на принципах радиолокации;
- хронометрическим фиксированием проезда автомобилями участка длиной от 50 до 100 м;
- расчетом по материалам крупномасштабной аэросъемки участка дороги;
- киносъемкой проезда автомобилями размеченного участка;
- путем записи скорости движения автомобиля-лаборатории, пристроившегося к группе автомобилей.

Однако во всех случаях необходима достаточная повторность проводимых наблюдений (от 50 до 150 замеров) – в зависимости от особенностей транспортных потоков.

На основе изучения распределения скоростей в транспортных потоках за характеристику участков дорог принимают скорость, которую превышают только 15 % автомобилей (скорость 85 %-ной обеспеченности).

Скорость 85 %-ной обеспеченности определяют для каждого характерного участка дороги графически. Используя кривую накопления – кумулятивную кривую, рассмотрим обес-

печенности построения и использования кривых распределения и накопления скоростей движения (рисунок 3.3).

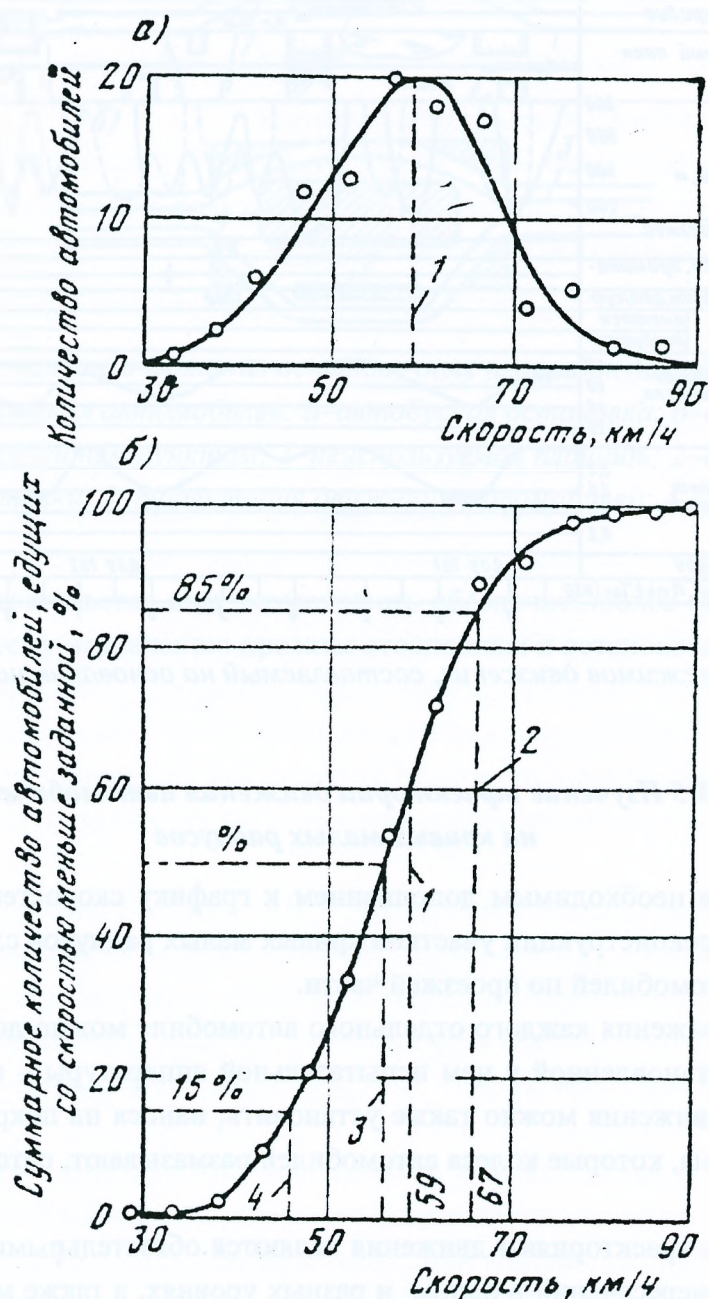


Рисунок 3.3. График для определения скоростей движения, соответствующих заданной обеспеченности: а–кривая распределения; б–кривая накопления; 1–наиболее характерная (модальная) скорость на створе; 2–скорость 85 %-ной обеспеченности; 3–средняя скорость; 4–скорость 15 %-ной обеспеченности.

По результатам наблюдений строят график, содержащий эпюру скорости движения и коэффициенты безопасности. Кривая коэффициента безопасности дает возможность выделить опасные участки (рисунок 3.4).

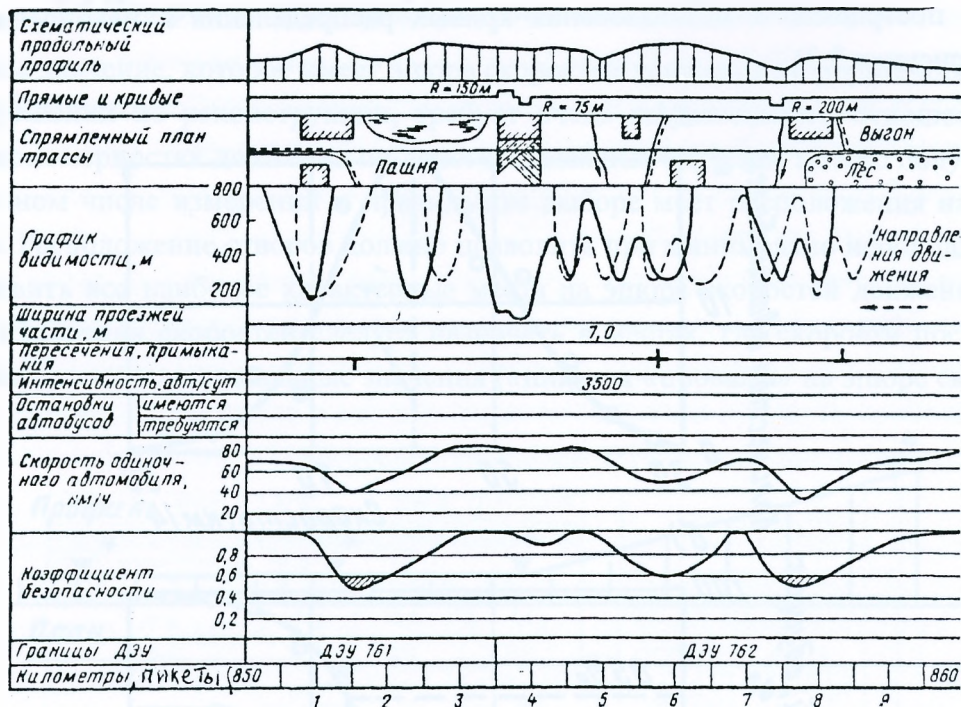


Рисунок 3.4 График режимов движения, составляемый на основании наблюдений за скоростями.

3.5 Изучение траектории движения автомобилей на кривых малых радиусов

В ряде случаев необходимым дополнением к графику скоростей для уточнения проектных решений по реконструкции участков кривых малых радиусов служат данные о траекториях движения автомобилей по проезжей части.

Траекторию движения каждого отдельного автомобиля можно достаточно точно записать при помощи установленной в нем испытательной аппаратуры – гироскопических приборов. Траектории движения можно также установить, нанося на покрытие поперечные полосы извести или мела, которые колеса автомобилей размазывают, оставляя следы на покрытии.

Наблюдения за траекториями движения являются обязательными при разработке проекта реконструкции пересечений в одном и разных уровнях, а также мест стоянок и остановочных площадок. Как известно, упорядочение движения на этих участках достигается устройством «направляющих островков», выделяющих полосы движения по отдельным направлениям и способствующих удалению друг от друга «конфликтных точек», мест пересечения траекторий разных потоков движения. Наблюдения за скоростями и траекториями движения позволяют установить как местоположения так и необходимое очертание островков.

Давайте посмотрим наиболее часто встречающиеся в практике случаи несоответствия очертаний остановочных площадок (рисунок 3.5).

Четко видно, что траектория движения автомобиля представляет собой как бы упругую нить, сглаживающую бесполезные углы асфальтированной поверхности, в которых скапливаются пыль, снег и грязь.

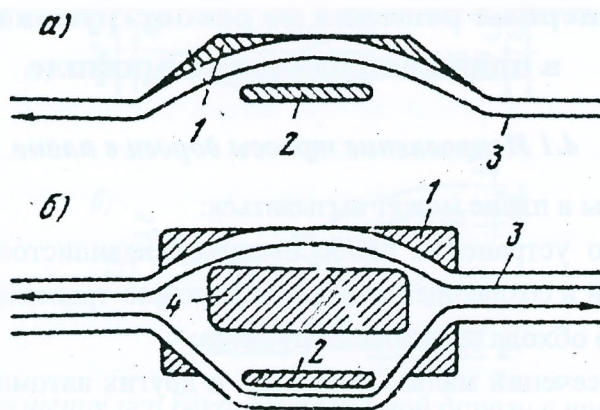


Рисунок 3.5 Несоответствие очертания остановочных площадок для автобусов траекториям движения автомобилей: а–автобусная остановка; б–въездная площадка перед населенным пунктом; 1–неиспользуемая площадь; 2–островок автобусной остановки; 3–траектория движения автомобилей; 4–центральный островок.

Учет этого обстоятельства дает возможность обеспечить более экономичные и лучше удовлетворяющие своему назначению проекты стояночных и остановочных площадок.

4 Инженерные решения по реконструкции дороги в плане и продольном профиле

4.1 Исправление трассы дороги в плане

Исправление трассы в плане может вызываться:

- а) необходимостью устранения необоснованной извилистости дороги, вызывающей перепробеги автомобилей и создающей опасность дорожно-транспортных происшествий;
- б) необходимостью обхода населенных пунктов;
- в) улучшения пересечений малых водотоков и других автомобильных и железных дорог;
- г) увеличения радиусов кривых в плане;
- д) улучшения водоотвода.

Следует отметить, что старые дороги, создававшиеся десятилетиями путем постепенного улучшения проселочных дорог, проходивших по возвышенным сухим местам и огибавших даже самые незначительные препятствия, имеют совершенно неоправданную извилистость.

Следует отметить, что действующие нормативные документы рекомендуют при возрастании интенсивности движения реконструировать дорогу без существенного изменения ее трассы, если ее основным назначением является обслуживание местных транспортных связей между промежуточными пунктами, а транзитное сообщение невелико. При большом транзитном движении часто целесообразнее отказаться от реконструкции и пойти на строительство новой.

Но, если интенсивность движения соответствует дороге I категории, всегда рекомендуется строить новую дорогу, не совмещая ее трассу с существующими дорогами. Трассу дорог II категории разрешается совмещать с существующими дорогами при отсутствии резких отклонений величин элементов плана и продольного профиля существующей дороги от требований к дорогам этой категории. Дороги III-V категорий совмещаются с существующими без ограничений.

Несомненно, что необходимость максимально использовать существующую дорогу и ее полосу отвода при реконструкции определяет несколько большую извилистость, чем допускается при новом строительстве. При этом извилистость, являющуюся следствием проложения трассы новой дороги по направлению старой дороги, необходимо устранять без выхода за пределы существующей полосы отвода.

Дорогу спрямляют обычно короткими участками, чтобы в наибольшей степени использовать существующее земляное полотно и дорожную одежду, если они не подвержены пучинообразованию.

Рассмотрим основные варианты смещения (рисунок 4.1).

При устранении извилистости трассы можно не только спрямлять отдельные участки, но и вводить кривые больших радиусов, объединяющие несколько коротких прямых и кривых.

Рассмотрим это на примерах (рисунок 4.2).

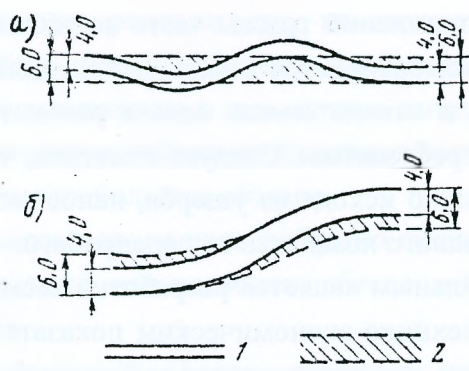


Рисунок 4.1 Варианты смещения оси реконструируемой дороги в пределах ее земляного полотна в целях наилучшего использования существующей дорожной одежды: а—на прямом участке; б—на кривом участке; 1—существующая дорога; 2—проектируемая дорога.

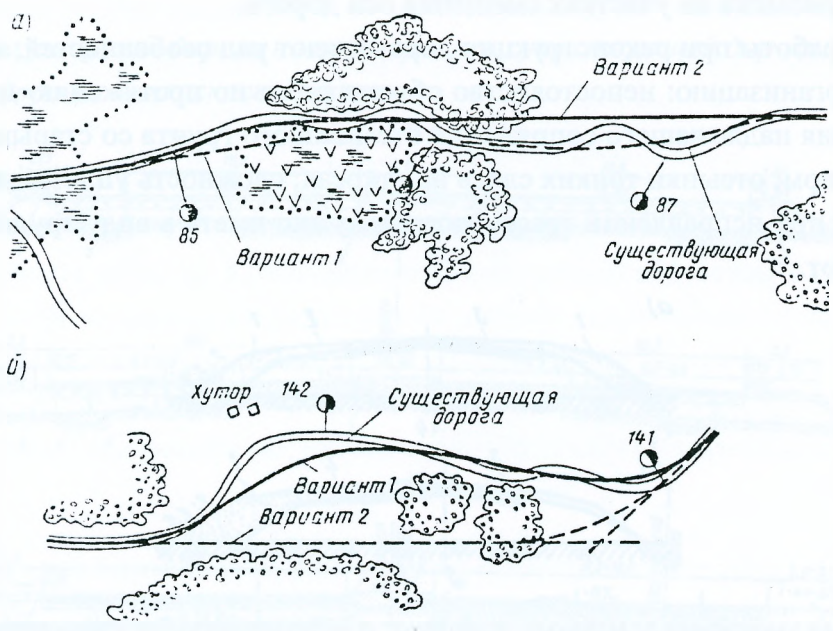


Рисунок 4.2 Варианты исправления трассы дороги в плане: 1—на прямом участке; 2—на сопряжении кривых.

Видим, что исправление трассы дороги на прямом участке можно осуществить по двум вариантам. Первый вариант спрямления трассы в максимальной степени использует существующую дорогу. Преимущество второго варианта заключается также в том, что постройку дороги можно вести, не создавая неудобств для движения по основной дороге.

Исправление трассы дороги на сопряжении кривых также можно осуществить по двум вариантам. Однако второй вариант, используя малоценные, заросшие кустарником земли, существенно спрямляет дорогу, чем первый.

Спрявление отдельных участков дороги при реконструкции часто требуется и на обходах сложных участков рельефа. К числу таких мест относятся обходы оврагов, заболоченных низин, а также спуски дороги по склонам для перпендикулярного перехода водотоков. Но и здесь принципы те же.

При проектировании спрямлений трассы часто возникают трудности с отводом необходимой земли, которая регламентируется законодательством о земле. Поэтому часто при отказе местных организаций в отводе земель нельзя реконструировать дорогу, удовлетворяющую всем современным требованиям. Следует отметить, что вопрос обоснования отвода земли чаще всего решают только исходя из ущерба, наносимого местным землепользователям, не учитывая потери народного хозяйства от перепробегов автомобилей.

Однако сегодня обязательным является разработка нескольких вариантов реконструкции и сопоставление их по технико-экономическим показателям, приведенным затратам и коэффициентам эффективности, что обеспечивает выбор наиболее эффективного варианта.

4.2 Уширение земляного полотна при реконструкции дорог

Реконструкция дорог всегда бывает связана с выполнением земляных работ: уширение земляного полотна; строительство нового полотна на спрямлениях; досыпка насыпи и углубление выемок; присыпка на участках смещения оси дороги.

Земляные работы при реконструкции дорог имеют ряд особенностей, затрудняющих их выполнение и организацию: непостоянство объема работ по протяжению дороги; необходимость обеспечения надлежащего сопряжения отсыпанного грунта со старым уплотнившимся земляным полотном; отсыпки тонких слоев на откосах; сложность уплотнения присыпаемого грунта. Поэтому при исправлении трассы дороги нужно иметь в виду трудности производства земляных работ.

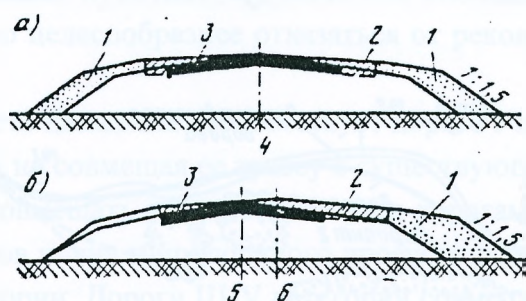


Рисунок 4.3 Схема уширения земляного полотна: а – двустороннее симметричное; б – одностороннее; 1 – присыпной грунт; 2 – новое покрытие; 3 – существующее покрытие; 4 – ось дороги; 5 – ось старой дороги; 6 – ось уширенной дороги.

На практике возможны следующие способы уширения насыпей и выемок (рисунок 4.3):

1 Двустороннее уширение, при котором ось реконструируемой дороги совмещают с осью существующей дороги. Достоинство этого способа заключается в том, что дорожная одежда остается на прочном, уплотненном основании: приемлемо только при малых высотах насыпи. В случае высокой насыпи, особенно при малой величине уширения, трудно обеспечить связь присыпаемых слоев со старым земляным полотном. Двустороннее уширение низких насыпей удобно сочетать с устройством пологих откосов (1:5-1:6), обеспечивающих безопасный съезд автомобиля на придорожную полосу;

2 Одностороннее уширение, при котором ось реконструируемой дороги смещают в сторону от оси существующей дороги. Недостаток этого способа состоит в том, что новая

часть дорожной одежды частично располагается на свежесыпанном грунте, которому трудно придать такую же степень уплотнения, как у старого земляного полотна.

Однако уширение земляного полотна в этом случае легче осуществить и выполнить качественно в связи с тем, что земляные работы сосредоточены с одной стороны дороги и приходится выполнять в одном месте их большие объемы.

На косогорных участках ось дороги целесообразно смещать к откосу, чтобы земляное полотно уширялось за счет выемки, что позволяет обеспечить устойчивость земляного полотна (рисунок 4.4).

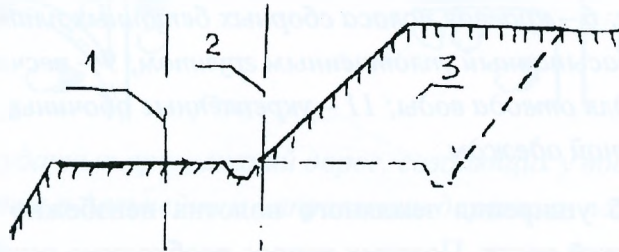


Рисунок 4.4 Схема уширения дороги на косогоре: ось существующей дороги; 2- ось уширенной дороги; 3- плоскость уширения.

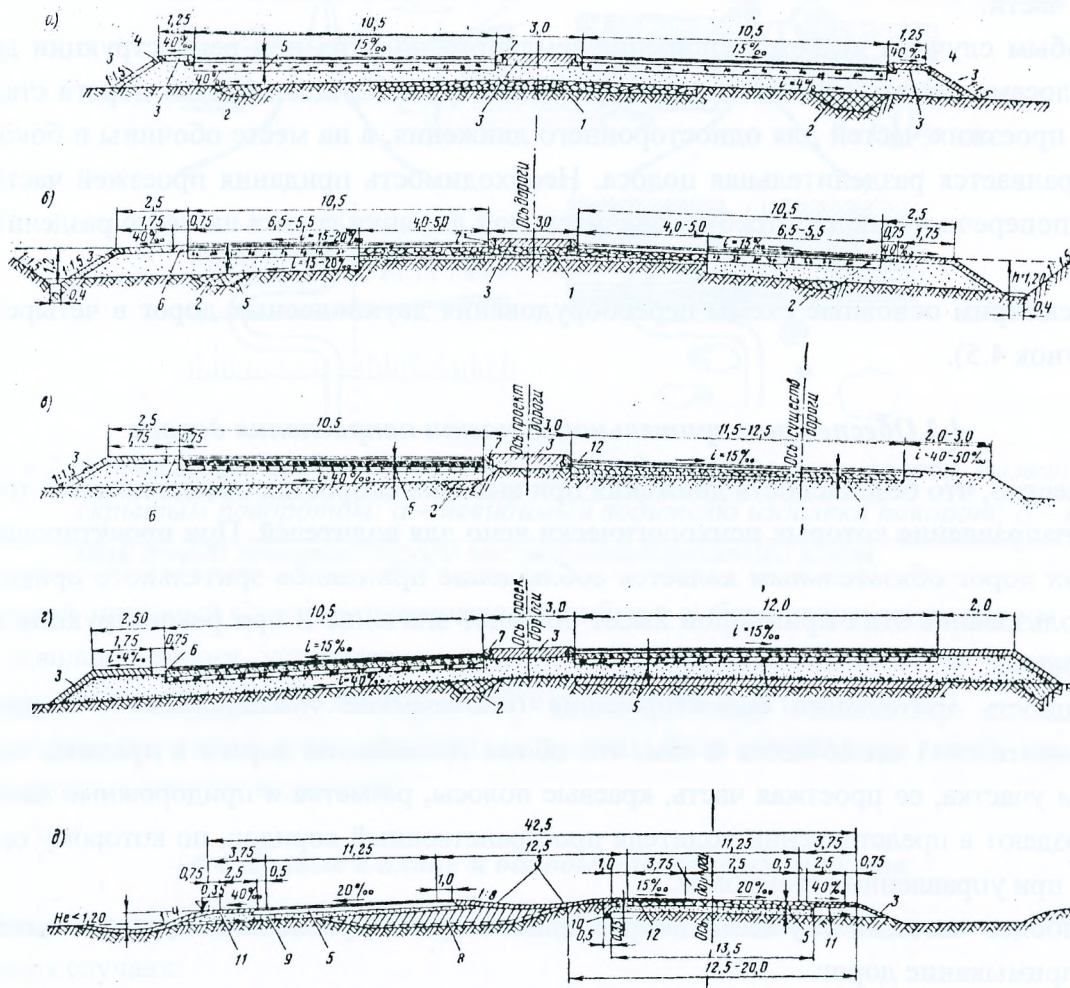


Рисунок 4.5 Примеры реконструкции дороги с двумя полосами движения в дорогу с разделительной полосой и проезжими частями для одностороннего движения:

а, б -- двухстороннее уширение; в, г, д – одностороннее уширение; а – с подъемной насыпью и подстройкой новой одежды; б – с использованием существующей дорожной одежды; в – с использованием существующей одежды и устройством возвышающейся разделительной полосы; г – с подъемкой насыпи; д – с использованием существующей дорожной одежды, засыпкой резерва и устройством широкой разделительной полосы вогнутого профиля; 1 – существующая дорожная одежда; 2 – канавы, засыпанные уплотненным связным грунтом; 3 – растительный грунт; 4 – дерновая лента шириной 50 см; 5 – новая дорожная одежда; 6 – краевая полоса сборных бетонных плит; 7 – бетонный бордюр; 8 – резерв, засыпанный уплотненным грунтом; 9 – песчаный слой; 10 – продольные дренажи для отвода воды; 11 – укрепленные обочины; 12 – выравнивающий слой дорожной одежды.

Выбранный способ уширения земляного полотна неизбежно требует и аналогичного способа уширения проезжей части. Поэтому вопрос необходимо решать комплексно, устанавливая наиболее выгодный метод уширения земляного полотна путем технико-экономического сравнения вариантов, учитывающего затраты на переустройство как земляного полотна, так и проезжей части.

Особым случаем является уширение земляного полотна при реконструкции дороги с двумя полосами движения в автомобильную магистраль. Существующая дорога становится одной из проезжих частей для одностороннего движения, а на месте обочины и боковой канавы устраивается разделительная полоса. Необходимость придания проезжей части одностороннего поперечного уклона требует значительной досыпки грунта на место разделительной полосы.

Рассмотрим основные схемы переоборудования двухполосных дорог в четырехполосные (рисунок 4.5).

4.3 Обеспечение зрительной ясности направления дороги

Известно, что безопасность движения при высоких скоростях обеспечивается только на дорогах, направление которых психологически ясно для водителей. При проектировании современных дорог обязательным является соблюдение принципов зрительного ориентирования. Использование этих принципов имеет большое значение и при реконструкции автомобильных дорог.

Сущность зрительного ориентирования («оптическое трассирование», «направление взгляда водителей») заключается в том, что общее проложение дороги в пределах видимого водителем участка, ее проезжая часть, красные полосы, разметка и придорожные насаждения как бы создают в представлении водителя пространственный коридор, по которому он ориентируется, при управлении автомобилем.

Наиболее частыми случаями неправильного ориентирования водителей является неудачное примыкание дорог.

Давайте взглянем на наиболее часто встречающиеся неудачные примыкания (рисунок 4.6).

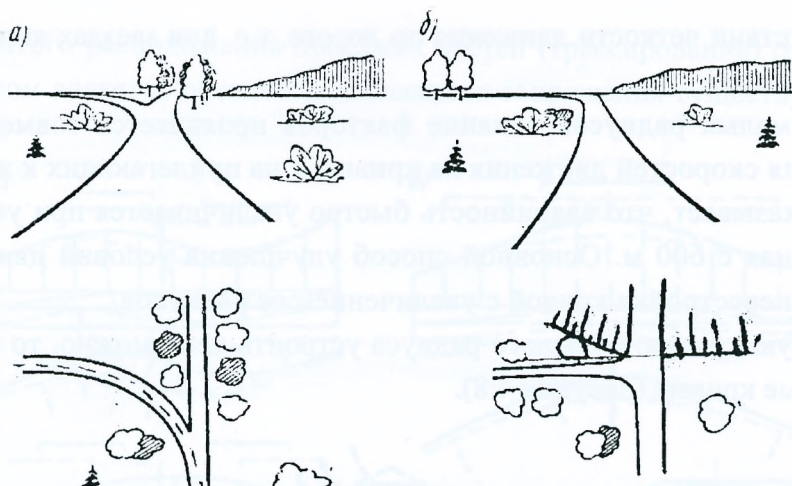


Рисунок 4.6 Примеры неудачных примыканий дорог, создающих у водителей неправильное представление о дальнейшем направлении дороги: а- ложный ход; б- кажущийся поворот.

Как видим, примыкание объездов и съездов требуют очень продуманных решений.

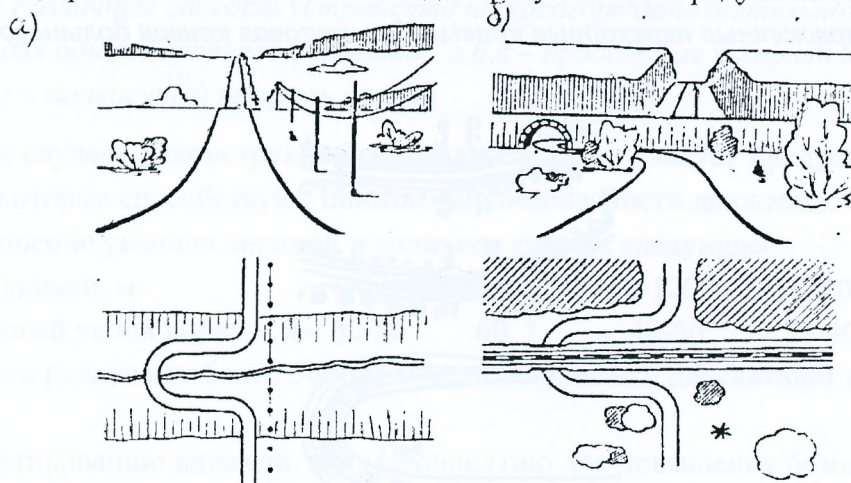


Рисунок 4.7 Неправильное представление у водителей о направлении дороги, вызванное ее скрытым поворотом: а – невидимый водителю издали поворот; б – невидимый ночью поворот дороги под железнодорожный мост.

Второй типичный случай возникновения ошибки в выборе направления дороги – петлеобразные извилины дороги, устраиваемые при обходе какого-либо препятствия с последующим выходом на старое направление дороги. Давайте рассмотрим и их (рисунок 4.7).

При реконструкции дорог обязательно должны быть исправлены места, где наиболее часто возникают ошибки водителей.

4.4 Кривые в плане и обходы населенных пунктов

При реконструкции дорог кривые малых радиусов в плане необходимо перестраивать в следующих случаях:

а) при резком ухудшении транспортно эксплуатационных качеств дороги на участках кривых;

б) при отсутствии четкости движения по дороге, т.е. при заездах автомобилей на полосу встречного движения.

На кривых малых радиусов влияние факторов проявляется совместно в результате резкого различия скоростей движения на кривых и на прилегающих к ним прямых участках. Практика показывает, что аварийность быстро увеличивается при уменьшении радиусов кривых, начиная с 600 м. Основным способом улучшения условий движения по кривым малого радиуса – перестройка кривой с увеличением ее радиусов.

Если круговую кривую большого радиуса устроить невозможно, то используют сопряженные переходные кривые (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 Уменьшение величины смещения кривой от вершины угла при разбивке закругления сопряженными переходными кривыми: 1 – круговая кривая малого радиуса; 2 – сопряженные переходные кривые; 3 – круговая кривая большого радиуса.

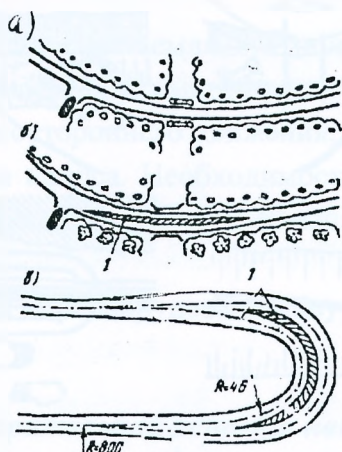


Рисунок 4.9 Устранение заездов автомобилей на полосу движения путем устройства на кривых малого радиуса разделительной полосы: а – опасная кривая до реконструкции; б – та же кривая после устройства разделительной полосы; в – разделительная полоса на серпантине; 1 – разделительная полоса.

Остающиеся после увеличения радиуса кривой участки старой дороги, можно переоборудовать в площадки для стоянки или отдыха. При полной невозможности увеличения радиуса кривой и обеспечения видимости рекомендуется ограничиваться мероприятиями по упорядочиванию движения, препятствующими заезду автомобилей на полосу встречного движения. Для этого проще всего устроить на проезжей части узкую разделительную полосу или направляющий возвышающийся островок, длину которого увязывают с протяжением зоны недостаточной видимости (рисунок 4.9).

В некоторых случаях на участке кривой около существующей дороги можно построить дополнительную проезжую часть для одностороннего движения, разместив ее выше или ниже по склону, используя применяемый при строительстве автомобильных магистралей

принцип ступенчатого расположения проезжих частей (трассирование) (рисунок 4.10). Обязательным при этом является обеспечение плавного сопряжения существующего и проектируемого участков.

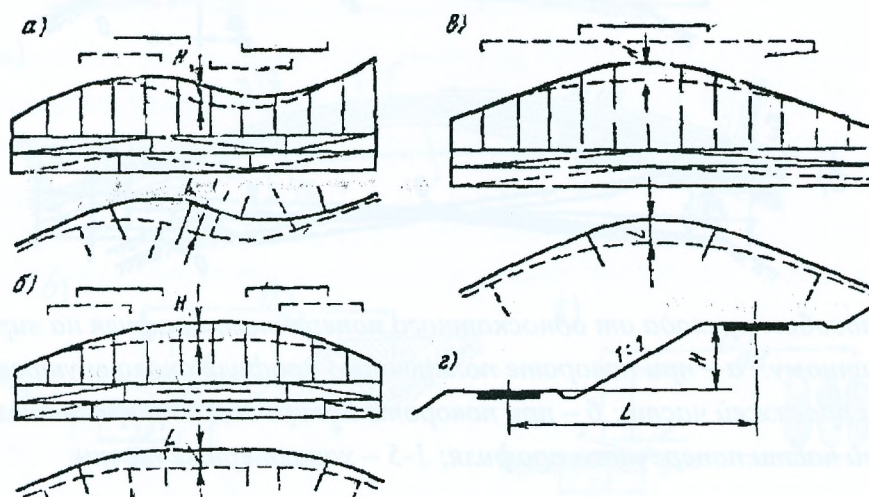


Рисунок 4.10 Различные способы устройства на косогоре дополнительной проезжей части для одностороннего движения: а, б, в – продольные профили и планы трассы; г – поперечный профиль дороги.

Во всех случаях реконструкции на кривых в плане следует предусматривать устройство виражей, которые способствуют повышению безопасности движения.

Соотношение уклонов виражей и радиусов кривых следующее:

радиус кривой, м:	<200	400-600	600-1200	1200-2000	3300-5000;
поперечный уклон виража, ‰:	60-80	60	40-50	30-40	20-25.

Кривые с радиусами более 5000 м можно оставлять с двускатным поперечным профилем.

К проектированию виражей, как мероприятию для повышения безопасности движения, необходимо прибегать весьма осмотрительно, так как безопасность движения на кривой с виражом обеспечивается только при условиях, предусмотренных при расчете, т.е. при чистом сухом или слегка влажном покрытии. На участках, где рабочие отметки дороги остаются без изменения, постройку виража осуществляют путем утолщения дорожной одежды на внешней стороне проезжей части, для образования односкатного поперечного профиля с заданным поперечным уклоном.

Наиболее сложен и в то же время част при реконструкции дорог случай разбивки виража, когда уклон виража превышает уклон проезжей части дороги. Проще всего осуществить переход к односкатному профилю одновременным поворотом одной половины поперечного профиля около внутренней кромки покрытия, а второй – около оси проезжей части (рисунок 4.11).

Не менее существенным при реконструкции является и устройство переходных кривых. Если величина сдвигки круговой кривой от введения переходной кривой не превышает 0,1-0,15 м, то их можно не устраивать.

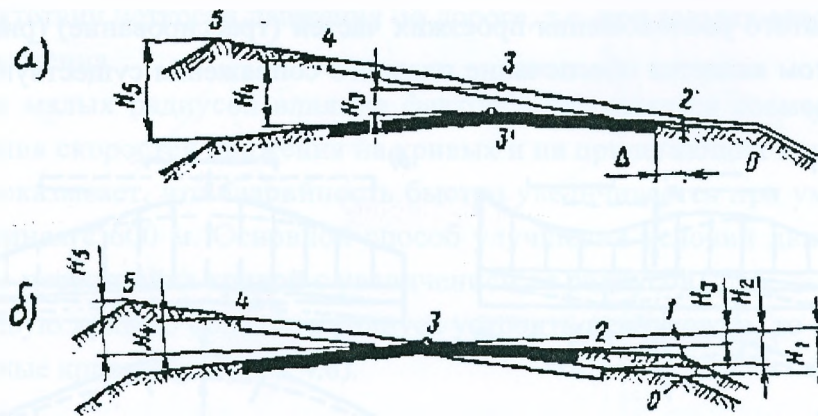


Рисунок 4.11 Способы перехода от односкатного поперечного профиля на виражах к двухскатному: а – при повороте поперечного профиля около внутренней бровки и оси проезжей части; б – при повороте поперечного профиля около оси проезжей части поперечного профиля; 1-5 – характерные точки.

При больших величинах сдвижки можно обеспечить введение переходной кривой за счет уширения проезжей части двумя способами:

- а) обычно проектируемое смещение всей круговой кривой внутрь угла;
- б) сдвижкой переходной кривой к вершине угла за счет смещения центра круговой кривой.

Посмотрим это в эскизных решениях (рисунок 4.12).

При разработке проекта реконструкции кривых в плане обязательна проверка видимости.

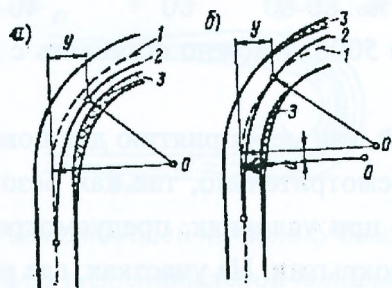


Рисунок 4.12 Особенности расположения переходной кривой при реконструкции дороги: а – обычный способ вписывания переходной кривой; б – вписывание переходной кривой со смещением центра круговой кривой: 1 – первоначальное положение оси полосы; 2 – новое положение оси; 3 – уширение.

Поэтому для каждой кривой малого радиуса, если не обеспечивается необходимая видимость, должен быть составлен проект необходимой срезки откосов выемок, удаления возвышающихся элементов рельефа или вырубке леса.

Проложение дорог через все населенные пункты долгое время лежало в основе технической политики, так как за счет дорожного строительства улучшалось состояние коммунального хозяйства населенных пунктов. Однако пропуск транзитного движения через населенные пункты вызывает ряд нежелательных последствий. От шума, отработавших газов автомобильных двигателей и поднимаемой пыли ухудшаются санитарно-гигиенические усло-

вия жизни населения. При высокой интенсивности движения количество дорожно-транспортных происшествий в населенных пунктах в 3-10 раз выше, чем на прилегающих территориях в открытой местности (рисунок 4.13).

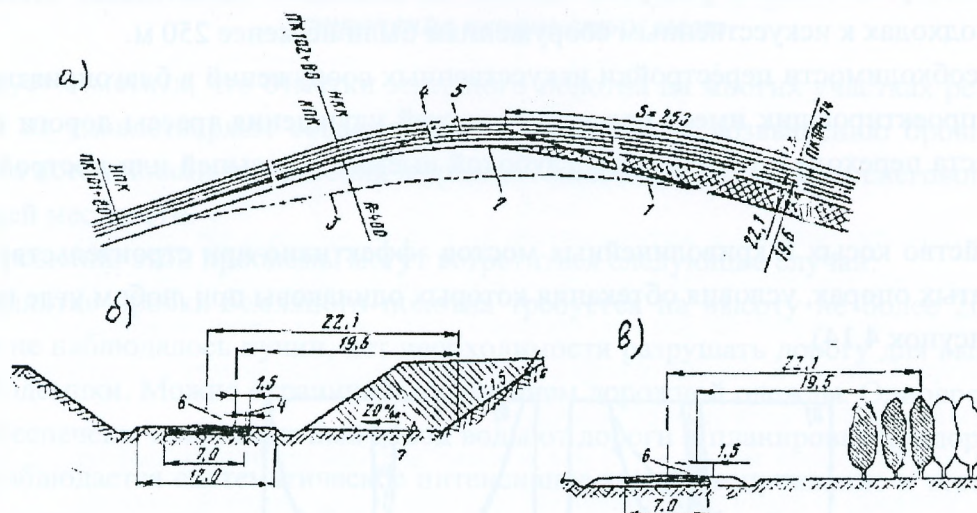


Рисунок 4.13 Оформление проекта устройства срезки видимости: а – план кривой; б – срезка откоса выемки на ПК 104+14 для обеспечения видимости; в – вырубка деревьев для обеспечения видимости; 1 – граничная кривая видимости; 2 – начало ограничения видимости откосами выемки; 3 – граница вырубай леса для обеспечения видимости; 4 – уширение проезжей части 0,3 м; 5 – ось дороги; 6 – траектория движения автомобиля, 7 – срезка откосов.

Сегодня вопрос о проходе дороги через населенный пункт или его обходе должен решаться технико-экономически, на основе анализа соотношения между транзитным и местным движением, при учете их абсолютного объема и влияния транзита на жизнь города. При этом, для больших городов, даже при относительно малой доле транзитного движения, в связи с большими суммарными интенсивностями, целесообразна постройка обходных кольцевых магистралей.

Однако для того, чтобы кольцевая дорога нормально работала и притягивала к себе грузопотоки, она должна быть расположена на оптимальном расстоянии от городской планировочной черты.

При невозможности обхода приходится предусматривать сложные решения, например, строительство эстакад. Нужно иметь в виду, что сегодня обход населенных пунктов является обязательным только для дорог I категории.

4.5 Улучшение пересечений водотоков

Неудобные для автомобильного движения пересечения малых водотоков обычно бывают вызваны одной из следующих причин:

- стремлением при строительстве пересечь русло водотока строго перпендикулярно к направлению течения;
- желанием сократить длину моста или объем работ на переходе.

Если построенные на дороге сооружения полностью удовлетворяют по габаритам и грузоподъемности перспективным требованиям движения, реконструкция дороги вынуждена ограничиваться увеличением радиусов кривых на подходах. Желательно, чтобы радиусы кривых на подходах к искусственным сооружениям были не менее 250 м.

При необходимости перестройки искусственных сооружений в благоприятных условиях рельефа проектировщик имеет ряд возможностей улучшения трассы дороги с помощью переноса места перехода с устройством глубокой выемки и насыпей или постройкой косоугольного моста.

Устройство косых и криволинейных мостов эффективно при строительстве мостов на одностолбчатых опорах, условия обтекания которых одинаковы при любом угле пересечения водотока (рисунок 4.14).

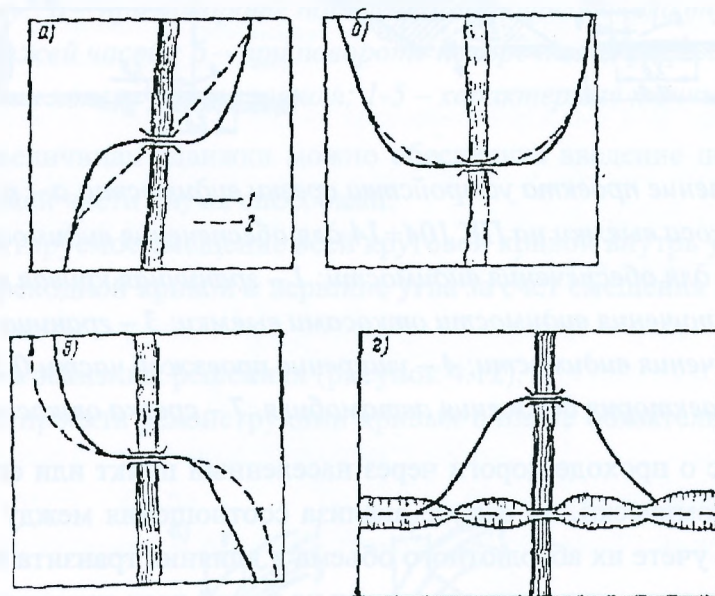


Рисунок 4.14 Способы улучшения трассы на мостовых переходах: а – постройка косоугольного моста; б – расположение моста на кривой; в – увеличение радиусов кривых на подходах; г – перенос места перехода; 1 – существующая дорога; 2 – улучшенная трасса.

Однако часто реконструкция мостового перехода может быть связана не только с изменениями в плане, но и с изменениями в продольном профиле дороги. Основное требование: обеспечение плавности движения.

5 Особенности реконструкции дорог в сложных условиях

5.1 Увеличение отметок земляного полотна и устранение пучинистых мест

Следует отметить, что отметки земляного полотна на многих участках реконструируемых дорог не удовлетворяют современным требованиям к возвышению бровки земляного полотна над источниками увлажнения и средним многолетним уровнем снегового покрова на окружающей местности.

При решении этой проблемы могут встретиться следующие случаи:

а) поднятие бровки земляного полотна требуется на высоту не более 20-30 см. При этом, если не наблюдалось пучин, нет необходимости разрушать дорогу для выполнения небольшой подсыпки. Можно ограничиться усилением дорожной одежды. Одновременно должны быть обеспечены поверхностный отвод воды от дороги и планировка придорожной полосы. Если наблюдается систематическое интенсивное зимнее вспучивание и весенние деформации дорожных одежд, то необходима капитальная перестройка с устранением причин пучинообразования;

б) подъемка полотна дороги невозможна, так как отметки ее поверхности нельзя изменить (подходы к переездам через железную дорогу, пересечение дорог в одном уровне, в населенных пунктах и др.).

При реконструкции таких дорог нужно применять способы борьбы с пучинами, при которых можно сохранить поверхность дороги на старом уровне. Методов перестройки пучинистых участков без поднятия насыпи достаточно много. Это:

1) устранение источников увлажнения земляного полотна путем организации поверхностного отвода воды с придорожной полосы, понижение УГВ за счет строительства дренажей в полотне, или перехватывающих дренажей на косогоре;

2) замена пучинистых грунтов верхней части земляного полотна из песка, укладываемого слоем толщиной не менее 50-60 см;

3) прерывание капиллярного, пленочного и парообразного поднятия воды из увлажненных глубинных слоев устройством в земляном полотне водонепроницаемых прослоек.

Прослойки могут быть из грунтов обработанных органическими вяжущими ($t=3-5$ см), рулонных гидроизоляционных материалов, укладываемых в 2-3 слоя (полиэтиленовые пленки, синтетические нетканые материалы).

Иногда вместо водонепроницаемых прослоек устраивают прерывающие прослойки из крупнопористых материалов (гравий, керамзит, крупный песок). Однако эти прослойки обязательно должны быть защищены обратным фильтром, конструктивная схема которого показана на рисунке 5.1.

4) предохранение земляного полотна от промерзания – устройство под дорожной одеждой теплоизолирующих прослоек, задерживающих промерзание.

Теплоизолирующие прослойки могут устраиваться из шлака, торфа, керамзита или водонепроницаемых пенопластов толщиной до 10 см.

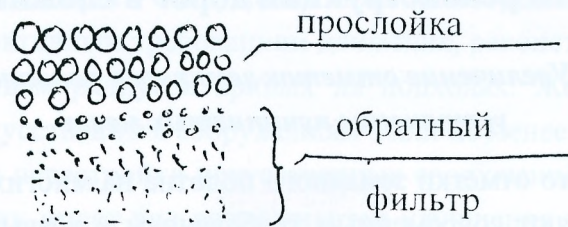


Рисунок 5.1 Конструктивная схема обратного фильтра.

Выбор противопучинных мероприятий на реконструируемых дорогах должен осуществляться на основе технико-экономического анализа их эффективности. Но во всех случаях противопучинные мероприятия должны сопровождаться укреплением обочин.

В некоторых случаях реконструкция земляного полотна может оказаться необходимой в целях уменьшения его заносимости снегом.

Самый эффективный метод – это увеличение высоты земляного полотна и перестройка его в насыпь, имеющую пологие обтекаемые снеговетровым потоком откосы.

5.2 Исправление продольного профиля при реконструкции дорог

Необходимость исправления продольного профиля дорог при реконструкции может требоваться в следующих случаях:

- на заниженных участках, с которых не обеспечен отвод воды и наблюдаются пучины;
- на участках с необеспеченной видимостью в пересеченной местности;
- на крутых подъемах и спусках для улучшения условий движения;
- для обеспечения плавности дороги с целью движения с высокими скоростями.

При небольших продольных уклонах местности оптимальный способ исправления продольного профиля заключается в изменении радиусов вертикальных кривых со срезкой выпуклых кривых и подъемкой вогнутых или общее выравнивание продольного профиля с устройством постоянного уклона одинаковой величины (рисунок 5.2).

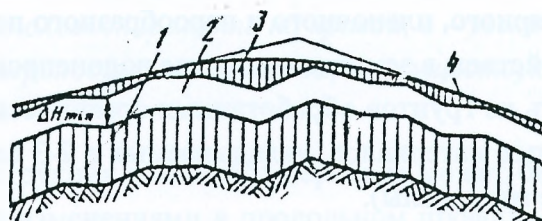


Рисунок 5.2 Схема выравнивания покрытия на вертикальной кривой: 1 – основание; 2 – покрытие; 3 – утолщение покрытия; 4 – продольный профиль поверхности покрытия.

Минимальным обязательным объемом работ по исправлению продольного профиля следует считать только срезку его выпуклых переломов с обеспечением видимости встречного автомобиля исходя из средней скорости транспортного потока.

На пересечениях относительно узких долин с крутыми склонами наиболее радикальный способ исправления опасных и неудобных спусков в долину – постройка виадука на высоких опорах, пересекающего долину в одном уровне с ее краями.

Рассмотрим на примере возможные варианты реконструкции для таких условий (рисунки 5.3).

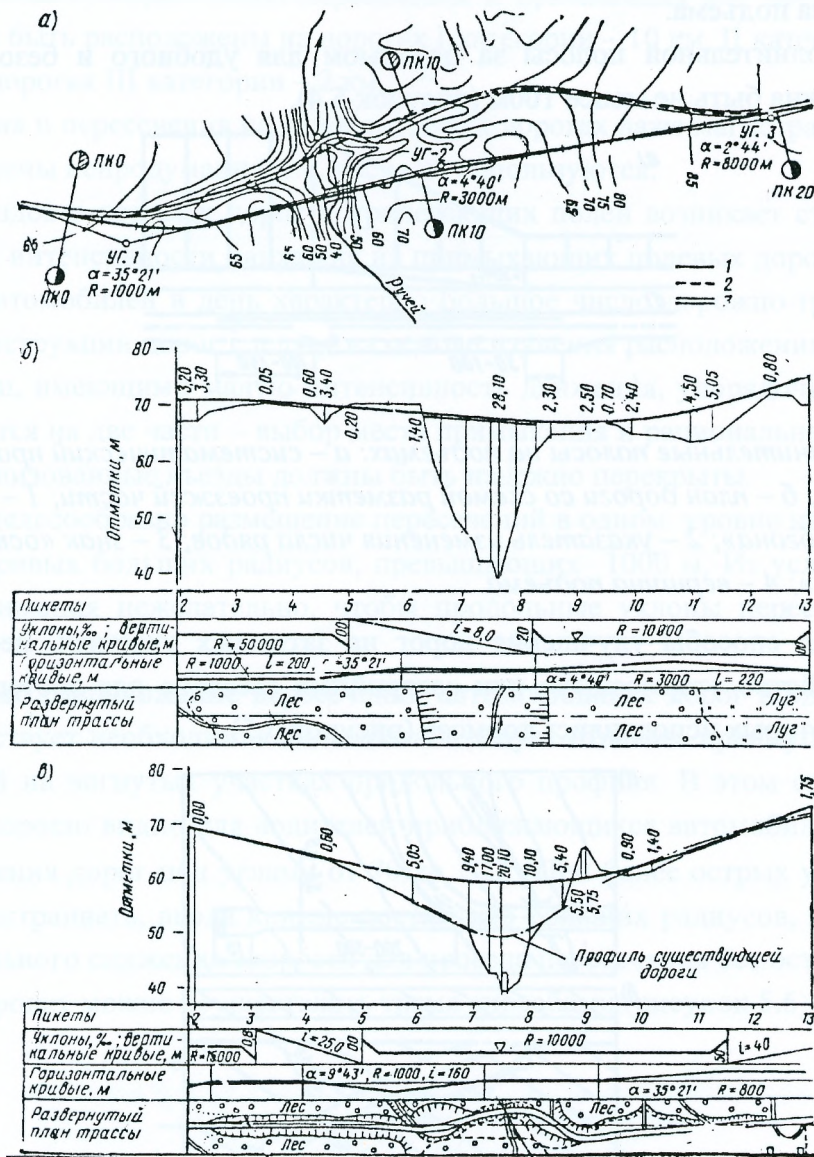


Рисунок 5.3 Варианты исправления трассы опасного участка на пересечении долины ручья:
 а – план вариантов трассы; б – продольный профиль принятого варианта;
 в – продольный профиль отклоненного варианта; 1 – принятый вариант;
 2 – отклоненный вариант; 3 – существующая дорога.

Короткие участки крутых подъемов, на которых возникают заторы движения из-за невозможности для тяжелых грузовых автомобилей и автопоездов преодолеть их с высокой скоростью, нужно перестраивать, уменьшая величину уклона до 30, максимум 40%.

На затяжных крутых подъемах (>50%) целесообразно уширение проезжей части с устройством дополнительной полосы для движения тяжелых грузовых автомобилей и автопоездов в сторону подъема. Выделение из транзитного потока группы медленно движущихся автомобилей позволяет увеличить среднюю скорость транспортного потока до 30-40 км/ч.

Планировочные решения дополнительных полос должны предусматривать обязательно включение переходно-скоростных участков, которые должны начинаться не менее чем за 50-100 м до начала подъема.

Длина дополнительной полосы за подъемом для удобного и безопасного слияния автомобилей должна быть не менее 100 м (рисунок 5.4).

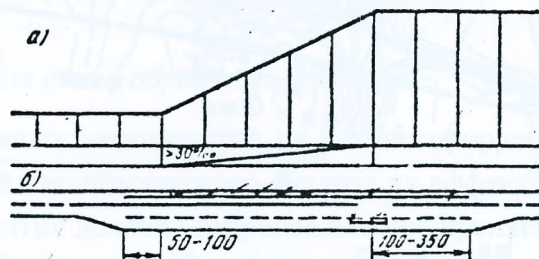


Рисунок 5.4 Дополнительные полосы на подъемах: а – систематический продольный профиль; б – план дороги со схемой разметки проезжей части; 1 – знак «левый ряд для обгона»; 2 – указатель изменения числа рядов; 3 – знак «остановка запрещена»; 4 – вершина подъема.

Рассматривая способы улучшения дорог на затяжных участках, необходимо предусматривать устройство «тормозных» или «аварийных съездов» для постепенной остановки автомобилей, у которых испортились тормоза (рисунок 5.5).

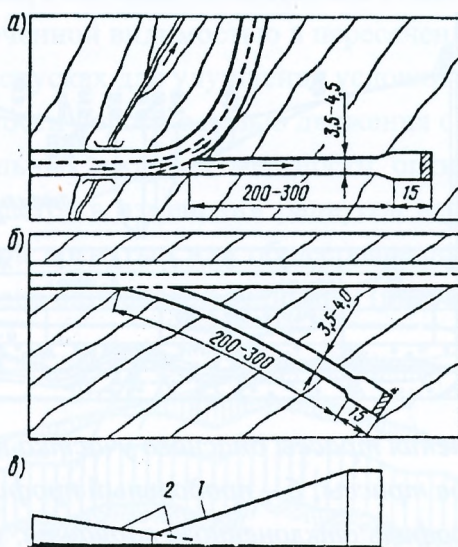


Рисунок 5.5 Типы тормозных съездов: а, б – примеры решений в плане; в – продольный профиль съезда; 1 – тормозной путь; 2 – основная дорога.

Аварийные съезды представляют собой тупик, продолжающий направление повернувшей дороги или примыкающей к дороге под острым углом и идущий на подъем с уклоном не менее 100%.

Тормозные съезды должны иметь поверхность повышенного сопротивления качению (вспаханный грунт или гравийно-песчаная засыпка).

5.3 Улучшение пересечений реконструируемой дороги с другими дорогами

Согласно действующим СНиП пересечения и примыкания вне пределов населенных пунктов должны быть расположены на дорогах I категории – 10 км, II категорий не чаще чем через 5 км, а на дорогах III категории – 2 км.

Примыкания и пересечения на существующих дорогах даже магистрального типа часто бывает расположены непродуманно, т.е. часто не используются.

Много въездов с полевых дорог и прилегающих полей возникает стихийно. Но даже при очень малой интенсивности движения на примыкающих полевых дорогах, часто не превышающей 50 автомобилей в день характерно большое число дорожно-транспортных происшествий реконструкции дорог следует на основе изучения расположения и работы пересечений с дорогами, имеющими малую интенсивность движения, упорядочить их расположение. Задача делится на две части – выбор места примыкания и рациональная его планировка. При этом неорганизованные въезды должны быть надежно перекрыты.

Наиболее целесообразно размещение пересечений в одном уровне на прямых участках дороги или на кривых больших радиусов, превышающих 1000 м. Из условия обеспечения безопасности движения нежелательно, чтобы продольные уклоны пересекающихся дорог превышали 30‰.

Недопустимо расположение пересечений автомобильных дорог в одном уровне в выемках, где отсутствует необходимая видимость. Следует отдавать предпочтение расположению пересечений на вогнутых участках продольного профиля. В этом случае пересечение обычно бывает хорошо видно для водителей приближающихся автомобилей. Оптимальным считают пересечения дорог под углами от 70 до 120°. При более острых углах, пересечения необходимо перестраивать, вводя кривые достаточно больших радиусов, которые не требовали бы значительного снижения скорости для проезда пересечения без остановки.

Перепланировку можно осуществлять тремя способами (рисунок 5.6):

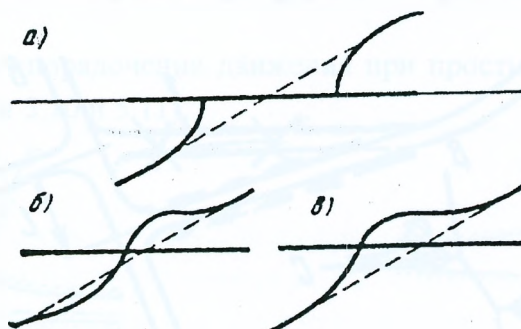


Рисунок 5.6 Способы перепланировки пересечений дорог под острыми углами: а – перестройка в два примыкания; б – устройство двух извилины; в – устройство одной извилины.

При пересечении или сопряжении дорог под углом менее 25° реконструкцию возможно осуществить смещением места примыкания или устройством дополнительной проезжей части для автомобилей, осуществляющих разворот (рисунок 5.7).

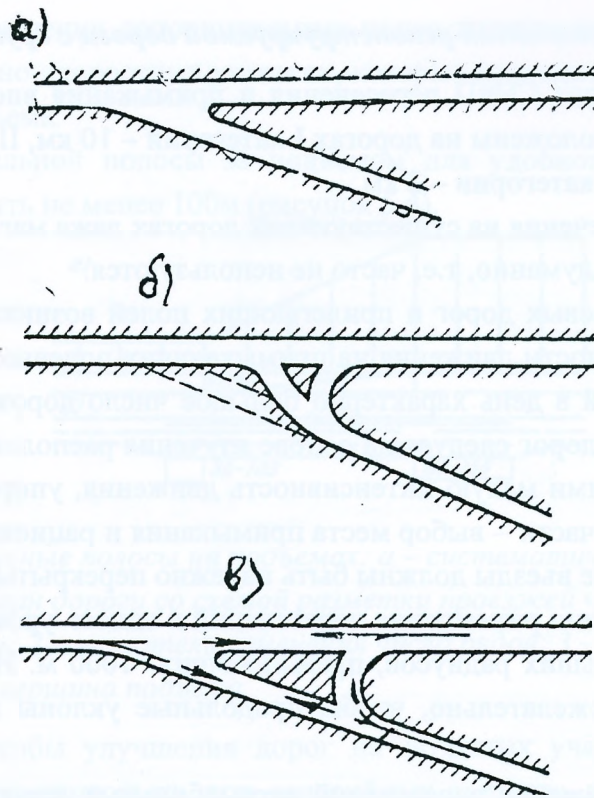


Рисунок 5.7 Способы перепланировки примыканий и разветвлений дорог под очень острым углом: а – неправильное примыкание под очень острым углом; б – смещение места примыкания; в – устройство дополнительной полосы.

В случае, когда на пересечении двух дорог основной поток движения поворачивает, а количество автомобилей, пересекающих дорогу, невелико, безопасность движения может быть повышена путем разделения пересечения на два смещенных примыкания, смещенных по отношению друг к другу (ступенчатое пересечение) (рисунок 5.8).

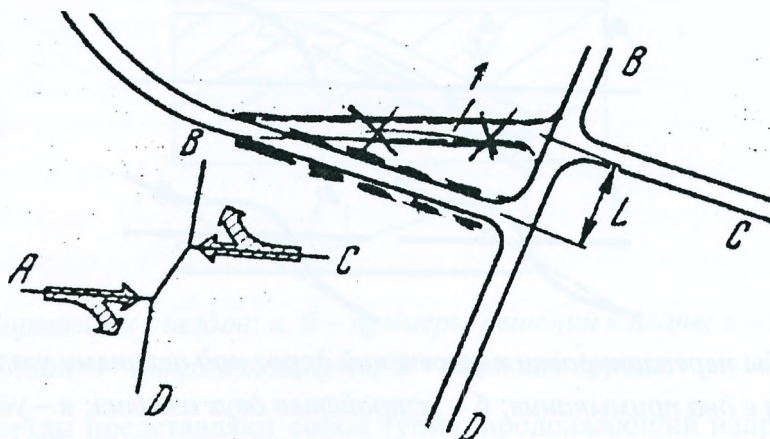


Рисунок 5.8 Схема перестройки пересечения на два смещенные примыкания: 1 – закрытый участок дороги (в левых нижних углах чертежей показаны этюры грузопотоков).

Не менее эффективна и реконструкция пересечений способом выделения преимущественных условий движения для наиболее напряженных направлений (рисунок 5.9).

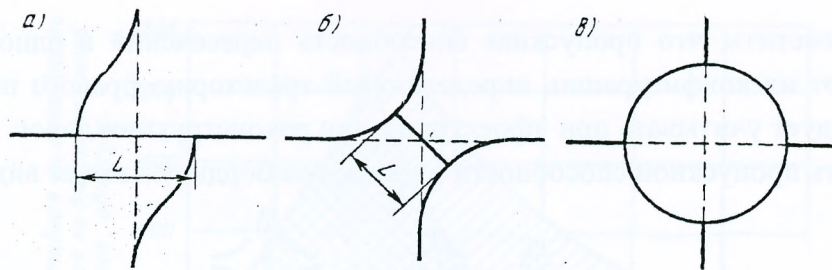


Рисунок 5.9 Способы реконструкции пересечений и примыканий нескольких дорог с выделением преимущественных условий движения для наиболее напряженных направлений: а – при большом количестве правых поворотов на пересекающей дороге; б – при преимущественном количестве поворачивающих автомобилей; в – при малом количестве автомобилей, следующих в прямом направлении и одинаковом количестве поворачивающих автомобилей.

Ширина проезжей части на кольце должна составлять 10,5-11,0 м, радиусы правоповоротных съездов в нормальных условиях рельефа и ситуации должны составлять 35-40 м, в стесненных – 25-30 м.

5.4 Улучшение условий движения по пересечениям в одном уровне

При высокой интенсивности движения на пересечениях в одном уровне целесообразно предусматривать меры пассивной реализации движения без введения светофорного регулирования. В ряде случаев повышение безопасности движения достигается путем «канализованных пересечений», устройством островков и нанесения линий регулирования движения с выделением резервных зон.

Используя при реконструкции дорог устройство островков и уширение тротуаров можно снизить количество происшествий в 4 и более раз. При этом в отличие от случая нового строительства обычно организуется кольцевое движение при помощи островков малых размеров.

Рассмотрим примеры упорядочения движения при простых пересечениях и пересечениях-примыканиях (рисунки 5.10 и 5.11).

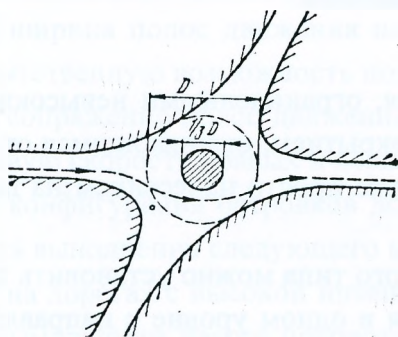


Рисунок 5.10 Упорядочение движения на простых пересечениях.

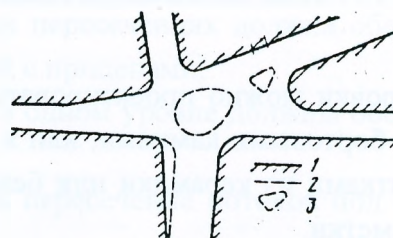


Рисунок 5.11 Упорядочение движения на пересечениях-примыканиях: 1 – первоначальная граница пересечения; 2 – граница после реконструкции; 3 – островки.

Следует отметить, что пропускная способность пересечений в одном уровне значительно зависит от их конфигурации, определяющей траекторию правого поворота. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании реконструкции дорог.

Зависимость пропускной способности от радиусов бордюров имеет вид (рисунок 5.12):

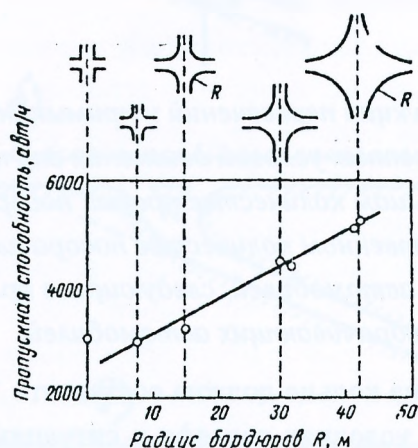


Рисунок 5.12 График зависимости пропускной способности от радиусов бордюров.

Однако наиболее эффективно несимметричное пересечение с соответствующей разметкой (рисунок 5.13).

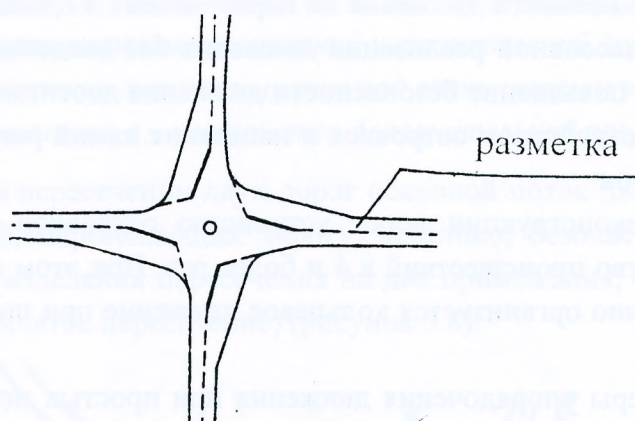


Рисунок 5.13 Схема несимметричного пересечения с разметкой.

Островки можно проектировать возвышающимися, ограниченными невысокими скошенными бортовыми камнями, или в одном уровне с покрытием, отличающимся от него по цвету плитками из керамики или белого бетона, или даже просто нанесением на покрытие линии разметки.

Область применения пересечений канализированного типа можно установить по номограмме (рисунок 5.14). Из нее следует, что пересечения в одном уровне с направляющими островками эффективны в достаточно широком диапазоне интенсивностей движения, зависящем от соотношения между интенсивностями на главной и пересекающей дороге.

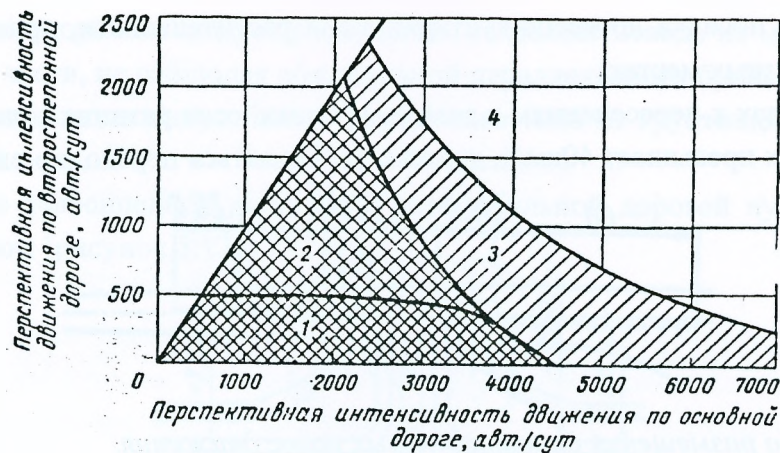


Рисунок 5.14 Номограмма для выбора типа пересечения: 1 – необорудованные пересечения; 2 – частично канализуемые пересечения с направляющими островками на второстепенной дороге; 3 – канализованные пересечения с направляющими островками на второстепенной и главной дорогах и переходно-скоростными полосами на главной дороге; 4 – пересечения в разных уровнях.

В целом выработанные практикой принципы планировки канализованных пересечений сводятся к следующему:

- 1) планировка пересечения должна быть зрительно ясной, простой и понятной для водителей;
- 2) точки пересечения траекторий движения автомобилей на пересечении должны быть удалены друг от друга;
- 3) планировка пересечения должна ставить перед водителем необходимость выбора не более чем одного из двух возможных направлений движения;
- 4) островки и разграничительные линии на пересечениях канализованного типа должны разделять поворачивающие и транзитные потоки, выделяя для них самостоятельные полосы движения;
- 5) островки и разделительные полосы должны прикрывать поворачивающие автомобили от автомобилей, едущих в прямом направлении по ближайшей полосе движения;
- 6) ширина полос движения на канализованных пересечениях должна обеспечивать беспрепятственную возможность поворота автомобилей с прицепами;
- 7) сопряжение полос движения на пересечениях в одном уровне должны обеспечивать одинаковую скорость правых и левых поворотов;
- 8) конфигурация островков должна обеспечивать пересечение потоков под оптимальными для выполнения следующего маневра углами;
- 9) на дорогах с высокой интенсивностью движения для остановки автомобилей в ожидании возможности левого поворота с главной дороги должны выделяться специальные дополнительные полосы движения, отделяемые от полос движения в прямом направлении вытянутыми островками (рисунок 5.15);
- 10) на пересечениях, расположенных в населенных пунктах, должны быть указаны места пешеходных переходов, а в некоторых особых случаях должны быть установлены барьеры.

ры или проведена посадка древесно-кустарниковой растительности, препятствующих переходу в необозначенных местах;

11) на подходах к пересечениям в разных уровнях, если разница в расчетных скоростях на дороге и съездах превышает 40км/ч, должны устраиваться переходно-скоростные полосы.



Рисунок 5.15 Схема размещения дополнительных полос движения.

5.5 Реконструкция участков дорог в пределах населенных пунктов

При невозможности устройства объезда населенного пункта нужно предусматривать улучшение условий движения.

В городах желательно перевести движение транзитных автомобилей с центральных улиц на параллельные улицы.

В населенных пунктах с прямоугольной к ней планировкой улиц большой эффект может дать разделение движения по видам автомобилей и направлениям движения. Но в любом случае выбор способа реконструкции зависит от ширины, главным образом от расстояния между рядами застройки (рисунок 5.16).

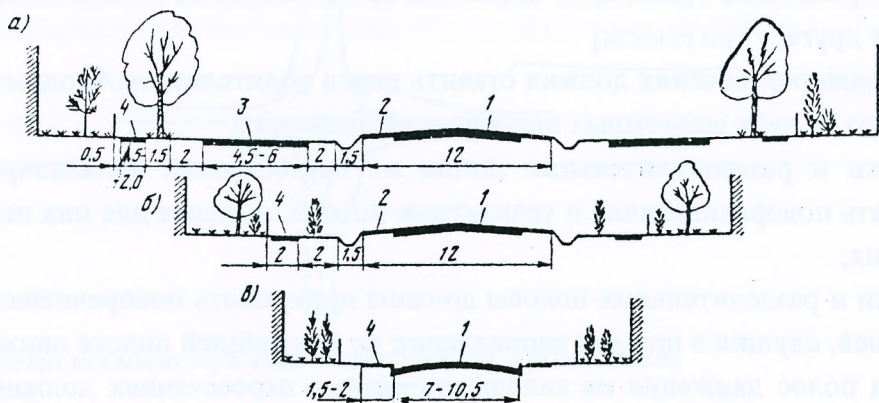


Рисунок 5.16 Поперечные профили улиц в малых населенных пунктах: а – дорога в насыпи при большой ширине улицы; б – то же, при ширине улицы, не позволяющей разместить проезжие части для местного движения; в – поперечный профиль с бордюрами; 1 – проезжая часть автомобильной дороги; 2 – укрепленные обочины; 3 – проезжая часть дороги для местного движения; 4 – совмещенные тротуары и велосипедная дорожка.

Большое распространение в сельской местности и в рабочих поселках велосипедов делает обязательным устройство велосипедных дорожек. При этом велосипедные дорожки должны продолжаться за пределы населенных пунктов на расстояние от 1 до 8 км, в зависимости от численности населения.

Велосипедные дорожки следует располагать на полосе отвода не менее чем в 2,5 м от кромки проезжей части, не соблюдая обязательной параллельности бровке дороги. Покрытия на велосипедных дорожках могут быть облегченного типа из грунтощебеночных и грунто-гравийных смесей.

Пересечение велосипедной дорожки с автомобильной дорогой нужно проектировать следующим образом (рисунок 5.17).

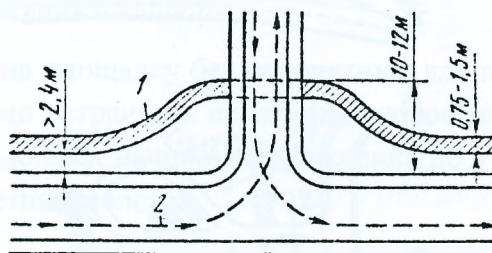


Рисунок 5.17 Расположение велосипедных дорожек на пересечениях дорог: 1 – велосипедная дорожка; 2 – траектория движения поворачивающих автомобилей.

В сельской местности можно рекомендовать сниженные параметры плана и профиля велосипедных дорожек:

Ширина дорожки для одностороннего движения, м	0,75
Наибольший продольный уклон, ‰	30
Минимальный радиус кривой в плане, м.....	60
То же, при устройстве виража, м	25
Наименьший радиус выпуклых вертикальных кривых, м	600
То же, вогнутых кривых, м.....	150
Габарит по высоте, м.....	2,5
Минимальное расстояние до бокового препятствия, м.....	0,5

Следует отметить, что условия движения автомобилей в населенных пунктах значительно ухудшаются и при отсутствии оборудованных стоянок и освещения. Поэтому реконструкция участка дороги в пределах населенного пункта должна сочетаться с обязательным устройством стояночных площадок, которые должны быть отделены от дороги и иметь два выезда.

Следует считать обязательным и установку искусственного освещения в населенных пунктах в следующих случаях:

- на дорогах IV категории – у основных мест скопления пешеходов;
- на дорогах III категории – автобусные остановки и тротуары;
- на дорогах I и II категорий – стационарное освещение нужно устраивать также на перекрестках, пешеходных переходах, стояночных площадках для автомобилей, мостах с узкой проезжей частью и кривых с ограниченной видимостью.

5.6 Оборудование дороги площадками отдыха, местами стоянок и автобусными посадочными площадками

Сегодня реконструкцию дороги уже нельзя ограничивать только улучшением самой дороги. Необходимо предусматривать одновременное устройство ряда сооружений для об-

служивания движения – площадок для кратковременного отдыха видовых площадок и площадок для стояния автомобилей и ожидания автобусов.

Рассмотрим примеры планировки площадок для ожидания автобусов (рисунок 5.18).

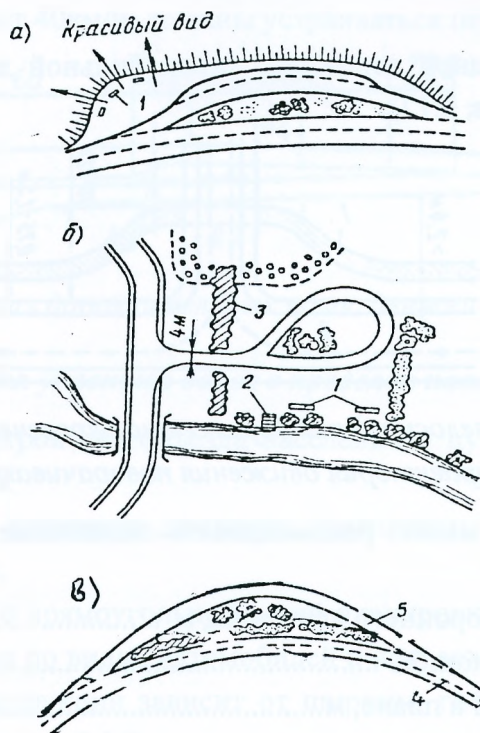


Рисунок 5.18 Примеры планировки площадок отдыха: а – типичная планировка площадки у места с красивыми видами; б – площадка отдыха у реки; в- использование для площадки отдыха брошенного при увеличении радиуса кривой участка дороги; 1 – скамейки; 2 – лестница к реке; 3 – живая изгородь; 4 – новый участок дороги; 5 – брошенный при реконструкции участок дороги.

При реконструкции дорог следует шире использовать возможность переоборудования отдельных участков спрямления реконструируемой дороги под площадки различного назначения (площадки для осмотра красивых видов, площадки для кратковременных остановок и т.д.).

Кроме того, оборудованные автобусные остановки должны рассматриваться как обязательный элемент современной дороги. Автобусы, останавливающиеся непосредственно на проезжей части дороги для посадки и высадки пассажиров, сильно стесняют движение других автомобилей. Выходящие из автобусов и пытающиеся пересечь дорогу пассажиры часто становятся жертвами дорожно-транспортных происшествий. Поэтому на всех автобусных остановках должны устраиваться специальные уширения проезжей части, обычно называемые «карманами».

Схема расположения площадок автобусов следующая (рисунок 5.19).

Соединительные участки остановочной площадки автобусов и съездов с дороги к площадкам отдыха, осмотра местности и к бензозаправочным станциям должны примыкать к проезжей части дороги под небольшим углом.

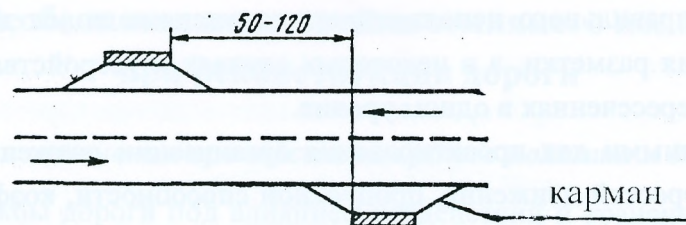


Рисунок 5.19 Схема расположения площадок.

Для плавности въезда на площадку без неприятных для пассажиров толчков и резкого притормаживания необходимо устраивать переходно-скоростные полосы. Для полной безопасности движения автобус должен начинать торможение не в пределах основной проезжей части, а на переходно-скоростных полосах.

5.7 Проектирование мероприятий по организации движения

Любые проектные решения по реконструкции должны предусматривать условия, при которых на дороге обеспечиваются оптимальные режимы движения, гарантирующие безопасность, удобство и достаточно высокую пропускную способность.

Как вам уже известно, выравнивание скоростей движения может быть достигнуто следующими мерами:

- а) устройством переходно-скоростных полос на пересечениях;
- б) постройкой дополнительных полос для медленно едущих автомобилей на подъемах;
- в) принудительным ограничением скоростей движения наиболее быстрых автомобилей;
- г) запрещением движения по дороге тихоходных транспортных средств;
- д) запрещением обгонов на отдельных участках;
- е) снятием с дороги движения пешеходов и велосипедистов.

Для обеспечения постоянных или изменяющихся в допустимых пределах скоростей движения на смежных участках дороги могут быть предусмотрены следующие мероприятия:

- перестройка в процессе реконструкции дороги участков, вызывающих снижение скорости (увеличение радиусов кривых в плане, доведение видимости до необходимых значений, смягчение коротких крутых подъемов и т.д.);
- ограничение скоростей движения на участках, где высокие скорости угрожают опасностью дорожно-транспортных происшествий (установка знаков, указывающие водителям рекомендуемую скорость);
- принудительное противодействие движению автомобилей с высокими скоростями путем устройства на дороге трясущих («шумовых») полос из крупнозернистой поверхностной обработки;
- использование при обстановке дороги ограждениями и посадке придорожных насаждений принципов зрительного ориентирования водителей. Уверенность водителей в дальнейшем направлении дороги способствует движению без снижения скорости при приближении к участкам ограничения видимости и, наоборот, искусственное создание неясности дальнейшего направления, например посадка группы деревьев по продолжению оси дороги на кривой, приводит к уменьшению скоростей движения;

– обеспечение правильного использования водителями полос движения на проезжей части путем нанесения разметки, а в некоторых случаях и устройства разделительных островков на кривых и пересечениях в одном уровне.

Исходными данными для проектирования организации движения по дороге должны являться графики скоростей движения, пропускной способности, коэффициентов аварийности или безопасности движения.

Итак, в первую очередь, ограждают следующие места:

- подходы к мостам;
- насыпи с подпорными стенками;
- участки, проходящие вдоль водотоков и с нагорной стороны железных дорог;
- кривые малого радиуса или резко изменяющие направление дороги;
- участки, подверженные образованию гололеда;
- насыпи выше 2 м;
- опоры путепроводов и отдельные деревья на разделительной полосе;
- устои путепроводов на обочинах;
- нижние части затяжных спусков;
- отдельные мелкие препятствия (столбы, дорожные знаки, мачты освещения).

Разметка проезжей части необходима на участках дорог, где водители испытывают затруднения в выборе направления и безопасного режима движения.

В зависимости от величины коэффициента безопасности можно рекомендовать нанесение следующих видов разметки:

- при $K < 0,4$ запрещение обгона с выездом на полосу встречного движения, а также перестроение автомобилей с одной полосы движения на другую;
- при $K = 0,4 - 0,6$ запрещение обгона;
- при $K = 0,6 - 0,8$ чередование в соответствии с условиями видимости разметки из параллельных сплошной и пунктирной линии, выделяющих участки разрешения обгона только для автомобилей одного из двух направлений.

Не следует злоупотреблять нанесением сплошной осевой линии, запрещающей обгон. Применять ее нужно только на опасных участках. В частности, на подъемах она целесообразна при протяжении их не менее 300 м. На кривых с радиусами более 450 м запрещать обгоны не следует. При радиусах менее 450 м целесообразно запрещать обгон автомобилям, следующим по внутренней полосе движения.

Очень эффективна разметка проезжей части на мостах.

Разметка проезжей части и расположение указательных знаков должны быть строго увязаны между собой.

6. Особенности перестройки земляного полотна при реконструкции дороги

6.1 Особенности изменения прочности земляного полотна и дорожных одежд

В процессе службы дороги под влиянием воздействий и транспортных нагрузок прочность земляного полотна снижается и в нем начинают возникать деформации. А водно-тепловой режим земляного полотна определяет изменения влажности и плотности грунтов в течение года, которые отражаются на условиях работы дорожных одежд и сокращают срок их службы. Неоднородные и неравномерно уплотненные грунты земляного полотна при промерзании подвергаются морозному пучению, вызывающему образование трещин на покрытиях.

Весной в земляном полотне появляется вода и его прочность снижается. Величина модуля упругости при этом падает на 25-40 %, что и определяет образование на дорожных покрытиях разрушений, особенно если коэффициент прочности дорожных одежд (отношение фактически выдерживаемой нагрузки к расчетной) $k_{пр} \leq 0,8$.

При наличии усовершенствованных водонепроницаемых покрытий грунты верхней части земляного полотна через 15-20 лет сильно «стареют», т.е. превращаются в оглеенные и при этом их прочность также постепенно снижается.

Откосы глубоких выемок и высоких насыпей подвержены следующим деформациям:

- а) сползание дернового покрова по откосу выемки, происходящее в основном при связных грунтах после оттаивания;
- б) воронкообразные выносы, образующиеся в местах выклинивания грунтовой воды;
- в) поверхностные сплывы грунтов при просачивании из откосов грунтовой воды;
- г) просадка с образованием уступов и оползней.

Плоскость сползания обычно совпадает с границей сезонного промерзания, сплывы чаще наблюдаются на южных откосах. Таким образом, деформации земляного полотна всегда связаны с морозным пучением, сплывами, размывом откосов, а также с размывом канав и обочин, что и определяет необходимость при реконструкции дорог изучать их водно-тепловой режим.

6.2 Связь пучинообразования с водно-тепловым режимом земляного полотна

Процесс пучинообразования является круглогодичным и его интенсивность характеризуется пятью стадиями увлажнения.

Первая стадия – начальная, связанная с осенним периодом увлажнения и продолжающаяся до установления среднесуточной температуры воздуха – 5°C. В это время пучение еще не наблюдается. Модуль упругости грунтов всего на 10-15 % меньше, чем летом.

Вторая стадия – это зимнее накопление влаги при незначительной скорости промерзания (т.е. $V_{пр} \leq 2,5$ см/сут) обуславливающее интенсивное льдообразование, сопровождающееся неравномерным морозным пучением покрытия, приводящим к ухудшению его транспортно-эксплуатационных качеств. При сильных морозах ($V_{пр} > 4,5$ см/сут) граница промер-

зания опускается быстро и влага из более глубоких теплых слоев грунта не успевает переместиться в верхнюю часть земляного полотна, что еще больше усиливает пучение.

Напомним, что скорость промерзания определяется по оси дороги (рисунок 6.1).

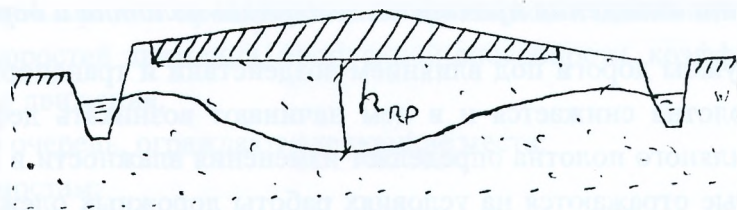


Рисунок 6.1 Схема формирования границы промерзания.

Третья стадия – вымерзание воды и установление равновесного состояния влаги в верхней части земляного полотна, что и обуславливает максимальное пучение.

Четвертая стадия – насыщение земляного полотна влагой и уменьшение пучения с одновременным снижением модуля упругости грунтов.

Так как процесс изменения влажности земляного полотна зависит от скорости оттаивания, то в годы с затяжной весной деформации на покрытиях почти не наблюдаются. При дружной весне, наоборот, увеличивается количество деформаций на покрытиях из-за снижения прочности грунта и материала подстилающего слоя.

Пятая стадия – восстановление летнего водно-теплового режима земляного полотна при полном оттаивании.

Следует отметить, что рассмотренная закономерность изменения влажности относится лишь к верхней части земляного полотна глубиной до $(2,5 \div 3,0) D$ от поверхности проезжей части, где D – диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля.

Влажность грунтов, залегающих ниже 1,5-1,8 м, остается почти постоянной в течение года. Эта закономерность во времени высматривает следующим видом:

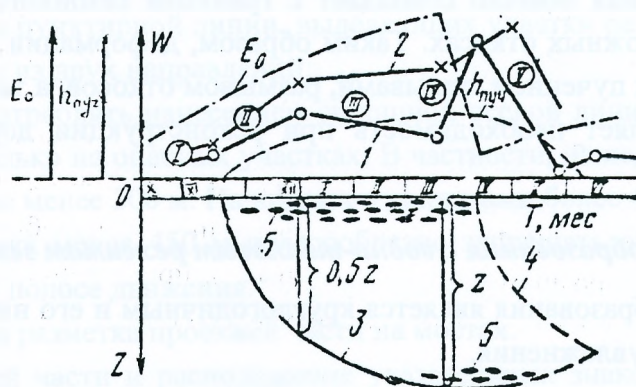


Рисунок 6.2 Схема закономерности изменения во времени морозного пучения $h_{пуч}$, модуля упругости E_0 и влажности W грунтов земляного полотна во 2-ой и 3-ей дорожно-климатической зонах: 1 – влажность песчаного подстилающего слоя; 2 – влажность грунта верхней части земляного полотна; 3 – кривая промерзания; 4 – кривая оттаивания; 5 – ледяные линзы и прослойки; z – глубина промерзания; I–V – стадии изменения влажности грунта.

На влажность верхней части земляного полотна оказывают существенное влияние тип покрытия и общая толщина дорожной одежды. С ее увеличением уменьшаются пределы колебания влажности, а также модуль упругости грунтов. При толщине современных дорожных одежд 0,65-0,85 м влажность верхней части земляного полотна изменяется в соответствии с синусоидой среднегодового цикла, что упрощает теорию расчета его водно-теплового режима.

Циклическое изменение водно-теплового режима земляного полотна, особенно в зоне хвойно-лиственных лесов с подзолистыми и заболоченными грунтами сопровождается усиленным протеканием процессов оглеения.

Во II дорожно-климатической зоне через 15-20 лет службы дороги прочность покровных глинистых грунтов, уложенных в насыпь или прикрытых водонепроницаемой дорожной одеждой, при нулевом профиле земляного полотна значительно снижается.

Оглеенные глинистые грунты почти всегда находятся в земляном полотне в увлажненном состоянии, представляя собой при относительной влажности более (0,75-0,8) W_T иловатую упруго-вязкую массу зеленоватой окраски. Структура таких грунтов иная, чем в резервах, из которых возводилась насыпь. Модуль упругости их в 2-3 раза меньше, чем грунтов придорожной полосы при одинаковой степени плотности. Такое изменение грунтов в земляном полотне (их «старение») происходит тем медленнее, чем выше рабочая отметка насыпи. Поэтому при реконструкции дорог особое внимание следует уделять участкам с заниженным земляным полотном, принимая для них больший коэффициент запаса прочности при проектировании дорожных одежд.

В соответствии с рассмотренными выше закономерностями и следует изучать состояние земляного полотна перед его реконструкцией. При этом морозное пучение нужно определять во время третьей стадии, а значение модуля упругости грунта – при четвертой стадии.

6.3 Расчетные характеристики грунтов земляного полотна

Для расчета толщины дорожных одежд на реконструируемых участках дорог необходимо располагать такими характеристиками грунтов, как модуль упругости E_0 , сцепление c , угол внутреннего трения φ , удельный избыток воды q , поступающей при оттаивании, относительный коэффициент морозного пучения $K_{пуч}$ и глубина промерзания z . Прочность дорожных одежд прежде всего зависит от прочности земляного полотна.

Наиболее распространенным критерием прочности грунтов является их модуль упругости, который с необходимой надежностью может быть определен непосредственно на земляном полотне.

Модуль упругости грунтов земляного полотна может быть также определен расчетом по результатам испытаний дорожных одежд передвижными и испытательными установками. Иногда применяют установки динамического нагружения, которые позволяют не только определить расчетные значения модуля E_0 , но и обоснованно назначать толщину отсыпаемых слоев грунта и требуемое количество проходов уплотняющих машин, обеспечивающие однородность земляного полотна.

Величины угла внутреннего трения φ и сцепления c при расчетах можно принимать по нормативным данным коэффициента относительного морозного пучения: определяют по формуле

$$K_{\text{пуч}} = \frac{\Delta h}{z} \cdot 100\%,$$

где Δh – высота пучения; z – глубина промерзания.

По степени морозного пучения грунты делят на пять групп (таблица 6.1).

Таблица 6.1

Группа грунтов	Название грунта по пучинистости	Наименование грунта по гранулометрическому составу	Тип местности по условиям увлажнения	Среднее значение $K_{\text{пуч}}$, %
1	2	3	4	5
I	Непучинистый	Песок гравелистый, крупный и средней крупности и содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 2 %.	2-3	1
II	Слабопучинистый	То же, но с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 15 %, а также песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 2 %.	2-3	1
		Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 15%, а также супесь легкая и легкая крупная.	1	1-2
		Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 15 %, супесь легкая крупная.	2-3	1-2
III	Пучинистый	Песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинок легкий, тяжелый, тяжелый пылеватый, глины.	1	2-4
		Супесь легкая, суглинки легкий и тяжелый, глины.	2-3	4-7
IV	Очень пучинистый	Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий, глины.	1	4-7
		Песок пылеватый, супеси пылеватые, суглинок тяжелый пылеватый.	2-3	7-10
V	Чрезмерно пучинистый	Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый.	2-3	10

Значение $K_{\text{пуч}}$ щебенистых, гравелистых и дресвяных грунтов при содержании в них более 15 % частиц размером мельче 0,05 мм, принимают таким же, как и для пылеватых песков.

Методика нахождения расчетной глубины промерзания z , наблюдаемой к концу третьей стадии пучинообразования общеизвестна.

6.4 Расчет избытка свободной воды в верхних слоях земляного полотна

При реконструкции земляного полотна необходимо знать количество свободной воды, поступающей в период четвертой стадии увлажнения из основания старой дорожной одежды. Оно определяется по зависимости:

$$Q_1 = h_0 (W_{om} - 0,75 W_m) \gamma 0,01,$$

где $W_{от}$ – естественная весенняя влажность грунта в конце третьей стадии; $W_{от}$ – граница текучести грунта, %; h_0 – расчетная толщина слоя грунта, м; γ – плотность грунта, т/м³.

Однако для такого расчета нужны данные многолетних наблюдений.

В практике чаще используют теоретические методы расчета:

$$Q = (q + 1,5)T,$$

где q – приток поверхностной воды и $q = q_3 + q_{II} + q_0$, q_3 – количество поверхностной воды, проникающей через разделительную полосу; q_{II} – то же, но через трещины и швы цементобетонных покрытий; q_0 – то же, но через обочины; T – продолжительность IV стадии.

Значение этих величин для РБ следующие:

$$q_3 = 0,3 - 0,5 \text{ л/м}^2 \text{сут};$$

$$q_{II} = 0,6 - 0,8 \text{ л/м}^2 \text{сут};$$

$$q_0 = 0,5 - 0,7 \text{ л/сут на } 1 \text{ м}^2 \text{ покрытия};$$

$$T = 20 - 40 \text{ сут (II дорожно-климатическая зона)}.$$

Для дорог на сырых и мокрых участках расчетные значения q и Q увеличивают в 1,25 раза. При наличии на дорогах разделительных полос значения q и Q увеличивают в 1,5 раза.

Для усовершенствованных покрытий, имеющих на поверхности сетку трещин более 0,6 м на 1 м² поверхности, значения q повышают на 1,5 л/м² в сутки.

На участках, расположенных в нижней части вогнутых вертикальных кривых, куда стекает вода по песчаному слою, значения q и Q удваивают.

6.5 Исправление земляного полотна при реконструкции автомобильных дорог

К реконструированному земляному полотну должны предъявляться исключительно строгие требования, так как непродуманные решения или некачественно выполненные земляные работы невозможно исправить при последующей эксплуатации дороги. Поэтому в процессе производства работ должен быть организован тщательный контроль за их качеством.

При реконструкции необходимо стремиться максимально использовать существующее доброкачественное земляное полотно. К нему относят участки, где не образуются подвешенные горизонты воды, а также отсутствуют включения оглеенных или иловатых грунтов.

При реконструкции необходимо, прежде всего, улучшить водно-тепловой режим земляного полотна, повышая степень уплотнения грунта и проводя инженерные мероприятия, гарантирующие влажность грунта не выше оптимальной.

Для достоверного установления источников увлажнения на типичных участках в период третьей стадии увлажнения, исследуют характер распределения влажности по глубине.

Проанализируем схему распределения влажности в земляном полотне по глубине на сухих и мокрых участках (рисунок 6.3).

Образцы грунта для определения влажности и путей поступления влаги берут из скважин закладываемых по сетке через 0,5 м в глинистых грунтах и 1 м в супесчаных. По глубине образцы отбирают через 20 см до уровня грунтовых вод, но не менее чем 2 м.

Следует помнить, что только достоверные знания характеристик источников увлажнения полотна, позволяют обоснованно разработать эффективные противопучинные мероприятия.

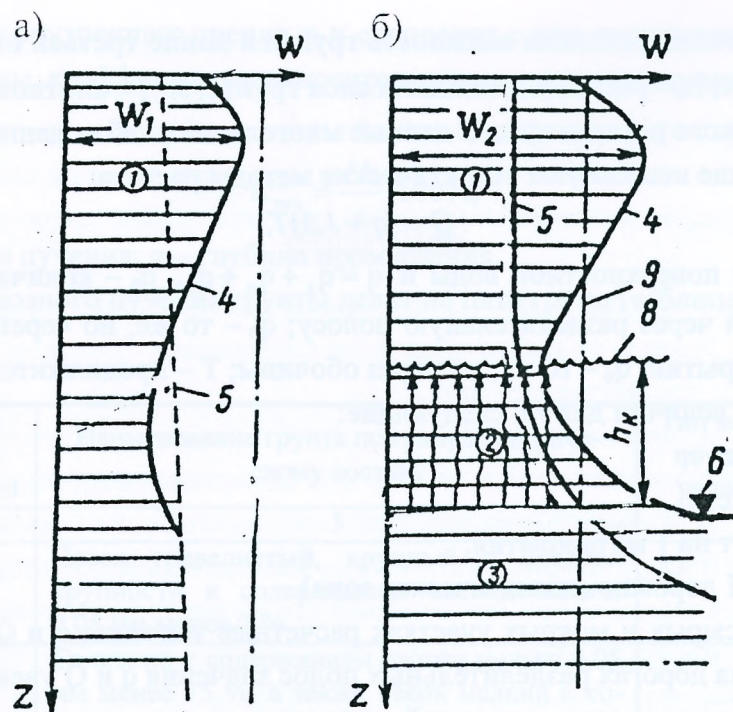


Рисунок 6.3. Схема распределения влажности в земляном полотне по глубине: а – на сухих участках; б – на мокрых участках; 1 – зона повышенной влажности; 2 – капиллярная зона; 3 – зона грунтовой воды; 4 – влажность по глубине к концу третьей или в начале четвертой стадии увлажнения; 5 – влажность в период пятой стадии увлажнения; 6 – уровень грунтовых вод в начале четвертой стадии увлажнения; 7 – уровень воды в период пятой стадии; 8 – поверхность менисков; 9 – влажность, соответствующая нижней границе текучести; W – естественная влажность грунта; z – глубина; h_k – высота капиллярного поднятия; W_1 и W_2 – максимальные значения влажности в конце третьей и начале четвертой стадии увлажнения ($W_1 < W_2$).

В качестве основных мероприятий по повышению модуля упругости земляного полотна можно рекомендовать:

- а) замена песком оглеенного грунта;
- б) укрепление различными вяжущими материалами верхней части земляного полотна;
- в) устройство теплоизоляционного слоя гидроизолирующей паронепроницаемой прослойки.

Наиболее радикальным решением является замена сильно пучинистых грунтов песком с требуемым коэффициентом фильтрации на полную ширину земляного полотна и на глубину не менее 0,5-0,6 м от низа дорожной одежды.

Коэффициент фильтрации K_f должен быть более 1 м/сут. При использовании песков с коэффициентом фильтрации $K_f < 1$ м/сут необходимо укреплять верхние слои земляного полотна для повышения их модуля упругости.

Чаще всего укрепляют (стабилизируют) на толщину 0,12-0,15 м известью-пушонкой, вводимой из расчета 2-3 % по массе. Можно применять и другие материалы – гранулированный шлак, золы, особенно сланцевые, и т.п.

Следует отметить, что использование изоляционных слоев особенно эффективно при реконструкции дорог, так как выполняемые объемы работ невелики, а отметки поверхности дороги мало изменяются.

Для паро- и гидроизоляции на тщательно спланированное и уплотненное корыто укладывается стеклоткань из синтетических материалов предварительно обработанных битумом. Такие прослойки способствуют регулированию водно-теплового режима земляного полотна. Слои дорожной одежды укладывают обычным способом.

При недостаточной прочности существующей дорожной одежды ($K_{пр} < 0,6$) целесообразно устраивать теплоизоляционные слои. Теплоизоляционный слой устраивают из материалов, имеющих низкие коэффициенты теплопроводности (жестких пенопластов, различных вспучивающихся смол, смеси грунта со вспученным стиропором и т.д.). Теплоизоляционный слой должен выступать с каждой стороны проезжей части на 0,5 м на укрепляемые обочины. Необходимая толщина слоя определяется расчетом.

Если существующая проезжая часть находится в относительно удовлетворительном состоянии и ее коэффициент прочности $K_{пр} > 0,7$, то после ее выравнивания щебеночным или гравийным материалом укладывают слой жесткого пенопласта толщиной 3,5-4 см, устраивая поверх него новую дорожную одежду.

На сырых участках при коэффициенте прочности дорожной одежды, равном 0,7-0,8, и искаженном поперечном профиле проезжей части повышения прочности дорожной одежды можно достигнуть:

а) устройством дренажей мелкого заложения при уширении проезжей части не менее чем на 0,9 м;

б) укладкой теплоизоляционного слоя непосредственно на существующей проезжей части с последующим устройством поверх него слоев утолщения дорожной одежды.

Дренажи мелкого заложения с трубчатой дренажной закладывают на глубине $0,7-0,8h_k$ от дна корыта, где h_k – максимальная высота капиллярного поднятия в песке, применяемого для уширения проезжей части (рисунок 6.4).

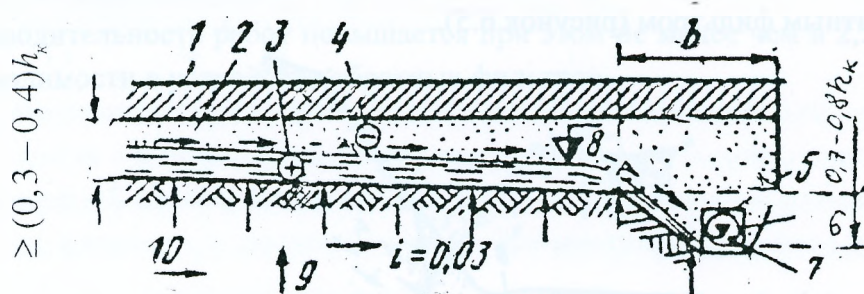


Рисунок 6.4 Схема дренажа мелкого заложения для осушения верхней части земляного полотна при уширении существующей проезжей части: 1 – покрытие и основание; 2 – сохранившийся песчаный слой; 3 – зона свободной воды; 4 – капиллярная зона; 5 – фильтровая обсыпка; 6 – труба; 7 – слой свободной воды в трубе; 8 – кривая депрессии; 9 – движение свободной воды в корыте земляного полотна в период его оттаивания; 10 – направление фильтрации воды в капиллярной зоне; b- уширение проезжей части.

Ширину дренажного ровика по дну принимают равной

$$l_1 = D + 2a + 0,2,$$

где D – наружный диаметр трубы, м; a – толщина слоя фильтровой обсыпки, м.

Обычно для дренажа используют трубы с внутренним диаметром от 5 до 10 см.

Правильно заложенный дренаж способствует осушению песчаного слоя существующей дорожной одежды, что обуславливает уменьшение зимнего вспучивания и повышения модуля упругости грунта верхней части земляного полотна.

В последние годы широкое распространение получают полимерные гофрированные перфорированные трубы. Морозное пучение или отдельные просадки не оказывают существенного влияния на работу устроенного из них дренажа.

Главное их преимущество состоит в очень малом количестве стыков, являющихся потенциальной причиной закупорки труб грунтовыми частицами. Известны случаи, когда дренажи с полимерными трубами находятся в отличном состоянии после 20 лет эксплуатации.

Усиление существующей дорожной одежды только щебеночным слоем с асфальтобетонным покрытием без применения дренажей или теплоизоляционного слоя требует устройства конструктивных слоев большой толщины. Такой метод усиления экономически оправдан лишь при наличии дешевых местных каменных материалов.

6.6 Повышение устойчивости откосов реконструируемого земляного полотна

При реконструкции повысить устойчивость откосов возможно за счет сравнительно несложных инженерных мероприятий.

Если поверхностные деформации на откосах распространяются на большую глубину, то их засыпают грунтом земляного полотна.

Предварительно бульдозером нарезают на откосе борозды и укладывают грунт горизонтальными слоями, тщательно уплотняя вибротрамбовкой.

В местах выхода на откосы выклинивающихся вод откос снизу подрезают, устраивая, в зависимости от глубины выемки полку шириной 1-3 м, и укладывают трубчатую дренажную трубу диаметром 0,15 м с обратным фильтром (рисунок 6.5).

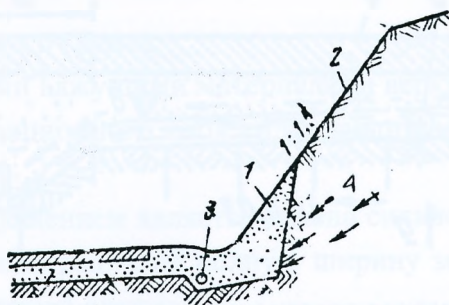


Рисунок 6.5 Схема повышения устойчивости откоса выемки при выклинивании грунтовых вод: 1 – гравий или щебень; 2 – травяной покров; 3 – трубчатая дрена; 4 – направление движения выклинивающейся вод.

Перфорированную трубу целесообразно предварительно обернуть синтетическим нетканым материалом или стеклотканью.

Место вырезки грунта засыпают морозо- и водостойчивыми материалами: гравий, камнем, щебнем, металлургическим шлаком и др. Из трубы делают вывод в пониженном месте.

В последние годы успешно применяют новые конструкции перехватывающих дренажей из сплошных гофрированных пластмассовых или алюминиевых вертикальных водонепроницаемых листов, в нижней части которых расположена дренажная труба. Они могут обеспечить осушение массива грунта на высоту до 3 м. В этом случае отсутствует необходимость в устройстве с низовой стороны водонепроницаемого экрана, что значительно снижает стоимость устройства дренажа (рисунок 6.6).

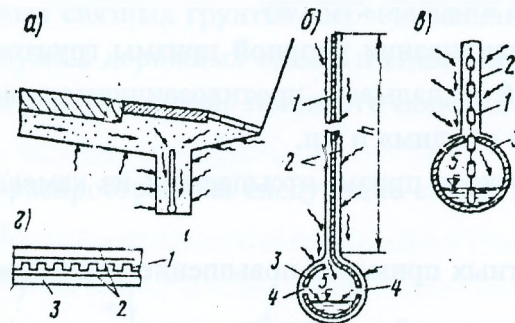


Рисунок 6.6 Дренаж с сердечником в виде водопроводящих «каналов», соединенных с трубчатой дреной: а – дренаж с сердечником из тонкого (0,5-1,0 мм) гофрированного материала; б – разрез гофрированного сердечника с прямоугольными или треугольными ребрами; в – разрез дрены с просечно-вытяжным пластмассовым или металлическим сердечником; г – вид сверху на сердечник; 1 – сердечник с водопроводящими каналами; 2 – минерально-волоконный фильтрующий материал; 3 – трубчатая дрена; 4 – водоприемные отверстия; 5 – вода, стекающая по дренажной трубе, (стрелки указывают направление движения воды).

Применение пластмассовых листов существенно усиливает процесс осушения земляного полотна.

Производительность работ повышается при этом не менее чем в 2,5-3 раза из-за отсутствия необходимости в устройстве обратных фильтров.

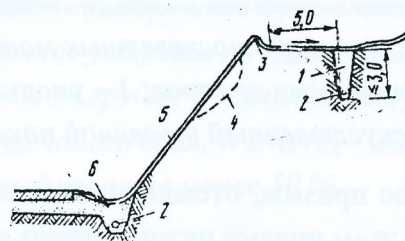


Рисунок 6.7 Схема перехватывающего глубокого дренажа для повышения устойчивости верхней части откоса: 1 – нагорный дренаж; 2 – трубчатая дрена; 3 – обваловка откоса; 4 – место возможного сползания грунта; 5 – травяной покров; 6 – подлотковой дренаж.

Повышению устойчивости верхней части откоса глубокой выемки обычно способствует устройство перехватывающего дренажа глубиной до 3 м на расстоянии не менее 5 м от ее бровки (рисунок 6.7).

Основной причиной нарушения устойчивости откосов насыпей являются низкая водо- и морозостойкость, а также высокая дробимость горных пород, из которых они возведены.

Повысить устойчивость откосов, сложенных из легко выветривающихся горных пород можно с помощью:

а) устройством с низовой стороны упорных призм из галечника, гравия или гравелистого песка;

б) уширением насыпи в низовую сторону.

Для предупреждения заиливания упорной призмы грунтом уширяемой насыпи желательно между ней и призмой закладывать противозаиливающую прокладку из стеклоткани, полимерного материала типа «бидим» и т.п.

Крутизна наружного откоса призм, отсыпаемых из каменных материалов, не должна превышать 1:1,3.

Рассмотрим на конкретных примерах повышение устойчивости низового откоса (рисунок 6.8).

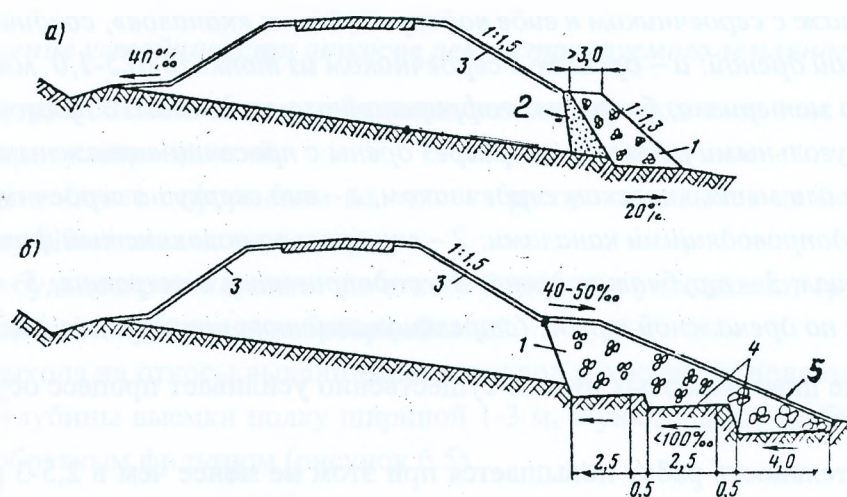


Рисунок 6.8 Пример повышения устойчивости низового откоса высоких насыпей устройством упорных призм: а – из крупноскелетных материалов; б – из глинистых практически непроницаемых грунтов; 1 – упорная призма; 2 – противозаиливающий слой; 3 – искусственный травяной покров; 4 – врезка в косогор.

Как видим наружный откос призмы, отсыпаемый из непылеватых глинистых грунтов должен быть не круче 1:2,5, при этом призму нужно врезать уступами.

Для стока просачивающейся через насыпь воды подошву призмы планируют в сторону падения косогора, придавая ей уклон 10-20 %.

Но если грунт насыпи за период эксплуатации стал водонепроницаемых грунтов, то ее врезают уступами в косогор с уклоном до 100 % в сторону оси насыпи.

На откосах упорных призм и насыпей, устроенных из крупнообломочных горных пород, укладывают защитный слой водонепроницаемого грунта толщиной не менее 0,6 м. При

использовании грунтов, обработанных вяжущими материалами, толщину защитного слоя можно уменьшить до 0,2 м.

6.7 Особенности производства работ по уширению земляного полотна

Присыпаемая часть уширенного земляного полотна должна работать совместно с существующим как единая конструкция. Оптимальным решением является применение при уширении тех же грунтов, которые использовались при ее возведении. Если это невозможно, необходимо уширять насыпи только песчаными непылеватыми грунтами строго соблюдая правила их расположения в теле насыпи. При этом хотя песчаные из-за большой дальности возки обходятся дороже местных связных грунтов, первоначальные затраты всегда оправдываются увеличением срока службы дорожных одежд и снижением расходов на эксплуатацию дороги. Поэтому стоимость реконструкции земляного полотна обычно на 30-50 % выше сооружения нового.

В практике наиболее распространены следующие схемы взаиморасположения грунтов в теле насыпи (рисунок 6.9).

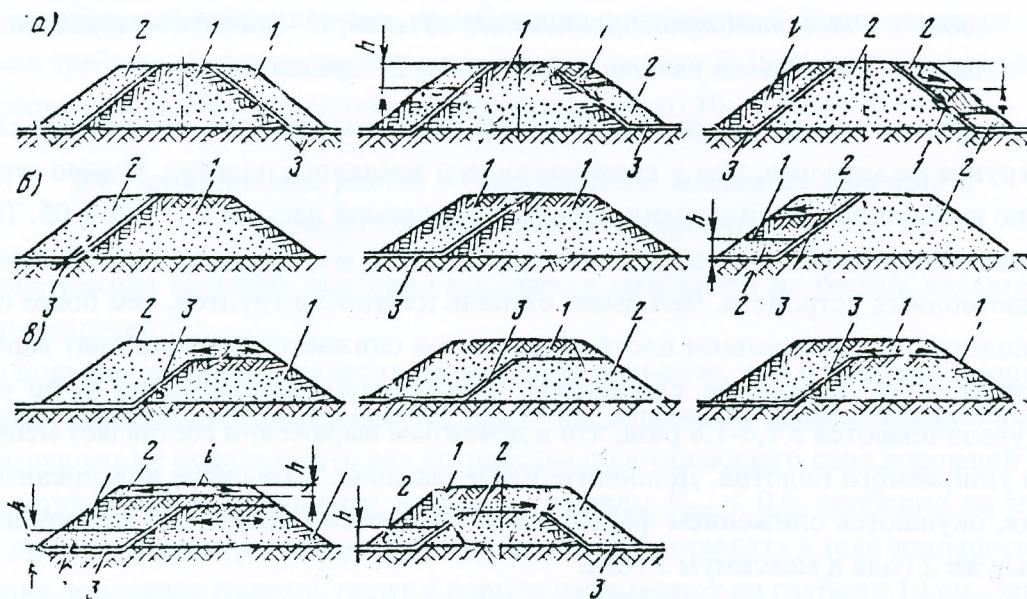


Рисунок 6.9 Схемы взаиморасположения грунтов в теле насыпей: а – симметричное уширение; б – несимметричное уширение; в – смягчение продольного профиля; 1 – связный грунт; 2 – песчаный грунт; 3 – снимаемый растительный грунт; h – минимальная толщина песчаного слоя; $h \geq h_k$ (h_k – высота капиллярного поднятия песка); i – поперечный уклон не менее 50 %.

Уширение насыпей на величину, меньшую ширины необходимой для прохода землеройной или уплотняющей машины, всегда связано со значительным осложнением производства работ. Поэтому полосу уширения увеличивают по сравнению с проектной для возможности нормальной работы землеройной техники. В симметрично уширяемых выемках глубиной более 2 м, но вместо боковых канав устраивать укрепленные лотки треугольного или округленного сечения (рисунок 6.10).

Такие лотки имеют много достоинств:

- а) повышают безопасность движения;
- б) снижают объем земляных работ;
- в) улучшают условия снегоочистки;
- г) способствуют быстрому восстановлению водно-теплового режима земляного полотна.

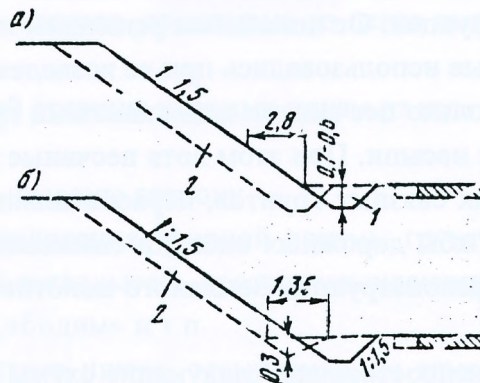


Рисунок 6.10 Возможные схемы симметричного уширения выемок с отводом поверхностной воды: а – кюветом трапециевидального сечения; б – лотком треугольного сечения; 1 – тщательно уплотненный грунт; 2 – срезанный грунт.

При уширении насыпей и засыпке боковых канав должна быть достигнута степень уплотнения грунта не меньшая, чем у существующего земляного полотна. Нужно стремиться к достижению коэффициента уплотнения грунта досыпаемой насыпи $K_0=1,03-1,05$. Только при этом условии предупреждается образование просадок в местах уширения насыпей или засыпки водоотводных устройств. Чем выше степень плотности грунтов, тем более однородно земляное полотно. С повышением плотности грунтов снижается коэффициент вариации. Затраты же энергии на уплотнение, связанные с повышением коэффициента K_0 до указанного значения, увеличиваются в 1,6-1,8 раза, что в денежном выражении составляет менее 10 % от стоимости уширяемого полотна. Дополнительные расходы, вызванные повышением степени уплотнения, окупаются снижением фактической стоимости содержания автомобильных дорог в первые же 2 года и максимум 3 года.

Так как земляное полотно можно уширять только после засыпки водоотводных устройств с равномерным уплотнением до коэффициента уплотнения $K_0 > 1$, что должно быть обязательно зафиксировано наличием акта на скрытые работы.

Хорошая уплотняемость крупнообломочных пород и получение прочного земляного полотна обеспечиваются содержанием от 30 до 50 % фракций размером мельче 2 мм и до 15 % обломков крупнее 350 мм. При этом влажность мелкозернистой фракции должна соответствовать тугопластичной консистенции (влажность по массе 15-20%).

При использовании для отсыпки и уширения земляного полотна зол уноса и золошлаков гидроудаления теплоэлектростанций следует учитывать, что золы в отвалах очень неоднородны. В верхнюю часть насыпей рекомендуется золошлаки, отложившиеся на участке сброса пульпы. Толщина отсыпаемых слоев при уплотнении катками на пневмошинах или виброкатками не должна превышать 20-25 см в рыхлом состоянии. Применение виброударных уплотняющих машин позволяет увеличить толщину слоя до 35-40 см. Золошлаковые

смеси, влажность которых меньше оптимальной, требуется поливать из расчета нормы, установленной по методу стандартного уплотнения. Только при этом условии можно достигнуть максимальной плотности и исключить пылеобразование в процессе работы катков. Если влажность золошлаковых смесей, превышает ее оптимальное значение, смесь подсушивают рыхлением и многократным перемешиванием автогрейдером или дорожной фрезой. Верхний слой насыпей, возводимых из золошлаковых смесей, для повышения однородности материала рекомендуется перед уплотнением предварительно перемешивать одним проходом дорожной фрезы. Толщина слоя должна быть такой же, как и в случае возведения верхней части насыпей из песчаных грунтов. Если в золошлаковых смесях содержится более 25 % фракций крупнее 10 мм, нужно добавлять 15-30 % местного связного грунта с перемешиванием дорожной фрезой. Требуемое количество добавки грунта определяют методом пробного уплотнения. Вместо зол могут применяться и горелые породы терриконов, материалы отвалов различных карьеров, особенно горных пород, формовочные пески и другие отходы промышленности.

Для уплотнения скальных и крупнообломочных грунтов с мелким заполнителем наиболее целесообразны вибрационные, трамбуемые и вибротрамбующие машины. Критерием достижения требуемой плотности служит величина осадки 9-10 % от первоначальной высоты насыпанного слоя. На откосах осадка увеличивается до 10-12 %.

6.8 Производство работ по возвышению земляного полотна и исправлению продольного профиля

Реконструкция насыпей, особенно высоких, с поднятием их бровок является технически трудной задачей.

При подъеме земляного полотна на величину большую, чем проектная толщина дорожной одежды с коэффициентом прочности $K_{пр} > 0,8$, дорожную одежду целесообразно вскирковать (разрушить) и использовать для устройства подстилающего слоя дорожной одежды.

При коэффициенте прочности дорожной одежды $K_{пр} < 0,6$, особенно на пучинистых участках, существующую дорожную одежду не следует оставлять в теле земляного полотна.

Удалив дорожную одежду, грунт в корыте разрыхляют на глубину 10 см. Затем корыто заполняют таким же грунтом, как в земляном полотне с послойным уплотнением до $K_0=1,03 \div 1,05$.

После заделки корыта необходимо земляное полотно спрофилировать, придав его поверхности двускатный поперечный профиль с уклоном не менее 40 ‰, а затем послойно его засыпать до проектной отметки.

Для достижения необходимой степени уплотнения, нужно чтобы естественная влажность связных грунтов составляла $(0,9 \div 1,1) W_0$, песчаных – $(0,8 \div 1,2) W_0$. При связных грунтах необходимо 14-16 и при песчаных 10-12 проходов по одному следу.

В случае досыпки земляного полотна крупнообломочными, гравелистыми, грунтощебеночными и малосвязными грунтами, содержащими до 5-6 % глинистых частиц, целесообразно вести уплотнение вибротрамбовками массой 4-5 т при толщине слоя до 40 см. Песчаные грунты можно уплотнять более тяжелыми катками при толщине слоя до 60 см и число проходов от 3 до 4, но со строгим соблюдением оптимальной влажности.

Сопряжение мест замены грунта на пучинистых участках с соседними неперестраиваемыми следует осуществлять в виде клина с крутизной откоса вдоль его оси 1:10 (рисунок 6.11).

Независимо от свойств заменяющего грунта с низовой стороны перестраиваемого участка по ходу продольного уклона в нем надлежит устроить на полную ширину земляного полотна поперечную прорезь глубиной до грунта старого земляного полотна, уложив в нее трубу диаметром $d=80-100$ мм. Если стенки трубы водонепроницаемы, как, например, у асбестоцементных, то до половины диаметра трубы нужно ее перфорировать или нарезать пропилы через каждые 30-50 см (рисунок 6.12).

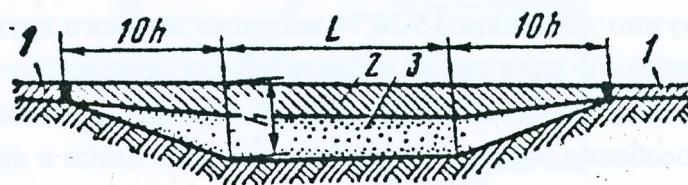


Рисунок 6.11 Схема продольного сопряжения пучинистого участка с неперестраиваемыми:

L – протяжение пучинистого участка; h – толщина замененного слоя олеенного грунта; 1 – дорожная одежда на соседних неперестраиваемых участках; 2 – новая дорожная одежда; 3 – замененный грунт.

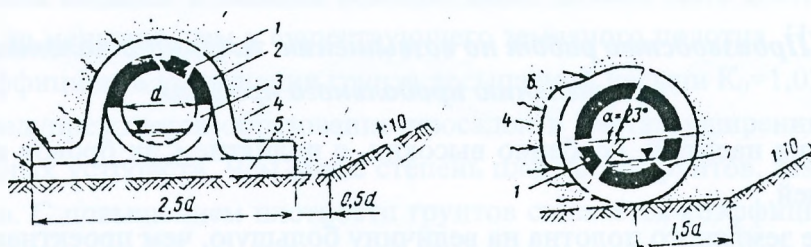


Рисунок 6.12 Схема конструкций поперечных прорезей мелкого заложения с фильтрами из

искусственных волокнистых материалов: а – трубы с прорезями; б – перфорированные трубы; 1 – труба; 2 – войлок или маты из базальтового или стеклянного волокна; 3 – пропил; 4 – песок с $K > 3$ м/сут; 5 – стеклоткань или ткань типа «бидим»; 6 – соединение на клею; 7 – водоприемные отверстия перфорированной трубы.

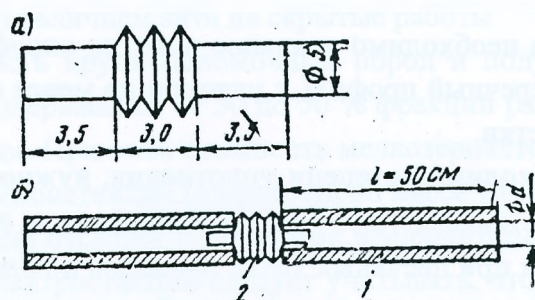


Рисунок 6.13 Соединение звеньев труб полиэтиленовыми муфтами-вкладышами: а – общий вид муфты-вкладыша; б – схема соединения; 1 – звенья труб; 2 – муфта.

Трубу обертывают стеклотканью или синтетическим материалом типа «бидим». Вместо асбестоцементных или гончарных труб в последнее время применяют трубофильтры с пластмассовыми вкладышами (рисунок 6.13).

6.9 Особенности планировки откосов земляного полотна

При уширении земляного полотна значительные трудности вызывает уплотнение на откосах присыпанных слоев грунта. Насыпи уширяют или досыпают с запасов грунта на откосах, равным 5-10 см. Откосы выемок не добирают на 10-15 см, чтобы при их планировке ограничиться лишь срезкой грунта.

Откосы выемок глубиной до 2 м и насыпей высотой до 2 м планируют автогрейдером.

При высоте насыпей и глубине выемок до 4 м откосы планируют навесными откосопланировщиками на гусеничных тракторах или бульдозерах.

При большой высоте насыпей и глубине выемок используют экскаватор-драглайн со скребком.

Для планировки откосов с успехом применяют и экскаваторы с телескопической стрелой и экскаваторы оборудованные двухотвальным скребком-планировщиком.

Технологические схемы на эти виды работ вы будете изучать в курсе технологии работ.

6.10 Укрепление откосов земляного полотна

Конструкцию укрепления откосов земляного полотна выбирают с учетом возможного воздействия природных факторов (свойств грунтов, скорости течения воды и т.д.) и наличия местных материалов, пригодных для укрепительных работ.

Основным видом укрепления незатапливаемых откосов является засев их многолетними травами для создания прочного дернового покрова.

Чтобы дерновой покров удовлетворял предъявляемым требованиям, необходимо контролировать:

а) качество предпосевной обработки растительного грунта (толщина слоя, степень его измельчения и т.д.);

б) качество и правильность хранения семян и удобрений;

в) соответствие проекту границ участков, на которых проводятся агротехнические работы;

г) правильность применения видов и норм высева семян и удобрений;

д) соблюдение технологии обработки растительного грунта, внесения удобрений, посева семян и ухода за посевами.

Поверхности откосов, подлежащие укреплению посевом трав, для лучшего сцепления с растительным грунтом нужно разрыхлять на глубину 10-15 см.

Затем по подготовленной поверхности откосов распределяют растительный грунт.

При недостатке растительного грунта используют грунт с заболоченных или заторфованных участков.

Для укрепления откосов применяют три вида трав: рыхлокустовые злаковые (тимофеевку или овсяницу луговую, житняк ширококолосый и узкоколосый сибирский, пырей бескорневищный, или регнерию, рейграс пастбищный, волоснец сибирский и типчак-овсяницу

бороздчатую); корневищные злаковые (костер безостый, овсяницу красную, мятлик луговой, болотный, сплюснутый, пырей ползучий и полевицу белую или обыкновенную); бобовые (клевер красный, люцерну, эспарцет, ледвенец рогатый, клевер белый или розовый, донник).

Травосмеси в зависимости от природных условий местности и свойств грунтов, по консультации со специалистами-озеленителями подбирают из семян всех трех групп. Рыхлокустовые и корневищные злаковые травы создают хорошую дерницу и придают ей большую прочность на разрыв в горизонтальном направлении. Бобовые стержнекорневые образуют длинные корни, надежно скрепляющие созданный злаковыми травами дерн с грунтом.

Обычно принимают следующие составы смесей: рыхлокустовые злаковые – 35 %, корневищные злаковые – 55 %, стержнекорневые бобовые – 10 %.

Нормы высева семян зависят от природных условий, свойств грунтов, заложения откосов, всхожести семян и равна 1,0-1,5 кг/100м². Для укрепления откосов следует применять семена не ниже 3-го класса.

Поэтому нормы высева нужно уточнять с учетом годности семян по зависимости:

$$H = \frac{Ч \cdot В}{100}, \%,$$

где Ч – чистота семян, %; В – их всхожесть, %.

Для повышения приживаемости семян и лучшего их произрастания в воду, которой поливают засеянные откосы, вводят минеральные удобрения из расчета 3-5 кг на 100 м².

Дерновой покров должен быть плотным, связным, равномерным по густоте и иметь достаточно развитую корневую систему. Качество покрова проверяют не менее 3 раз и каждый раз на площади в 1000 м². К моменту приемки после прохода автомобиля с нагрузкой на колесо в 5 тс глубина колеи в сухую погоду на дерновом покрове не должна превышать 5 см.

Чтобы предупредить эрозию откосов, рекомендуется легко размываемые грунты (мелкие однородные пески, супеси или лессы) до посева на глубину не менее 10 см укреплять портуландцементом из расчета 10 % (по массе) или медленно распадающейся битумной эмульсией.

Надежным и дешевым способом укрепления откосов является посадка влаголюбивых пород деревьев со стержневой корневой системой, а также кустарников со стелющейся корневой системой при одновременном посеве многолетних трав.

В легко размываемых грунтах и в местах интенсивного воздействия воды откосы укрепляют сборными бетонными элементами: со срезанными углами, укладываемыми на слой гравия или щебня (рисунок 6.14).

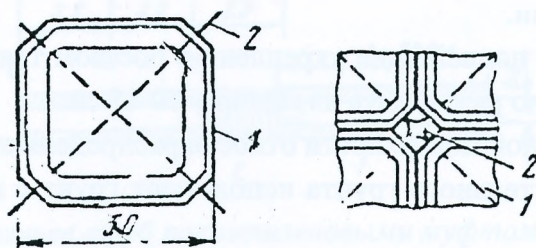


Рисунок 6.14 Бетонные плиты для укрепления временно подтапливаемых откосов земляного полотна: а – общий вид плиты; в – деталь сопряжения плит в углах; 1 – бетонная плита; 2 – выступающий конец арматуры.

Выступающую по углам арматуру закручивают и заделывают песчаным асфальтобетоном. В результате как бы образуется эластичный тьюфик, который при подмыве проседает, прекращая дальнейший размыв.

Применяют и другие конструкции железобетонных элементов, образующих на откосе решетку (рисунок 6.15).

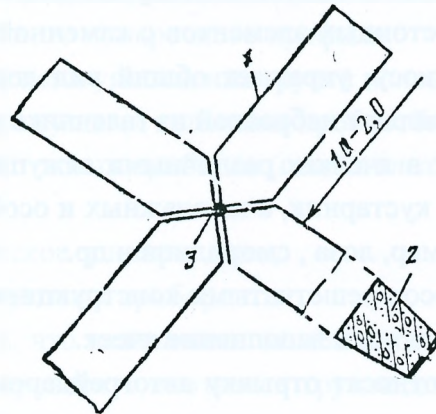


Рисунок 6.15 Схема соединения диагональных сборных бетонных элементов: 1 – диагональный элемент; 2 – поперечное его сечение; 3 – металлический штырь.

Для повышения устойчивости решетчатого укрепления у подошвы откоса или конуса устраивают упор из монолитного бетона сечением 25×40 см или из блоков размером 30×40×250 см. Упором могут служить и элементы, образующие нижний пояс (рисунки 6.16 и 6.17).

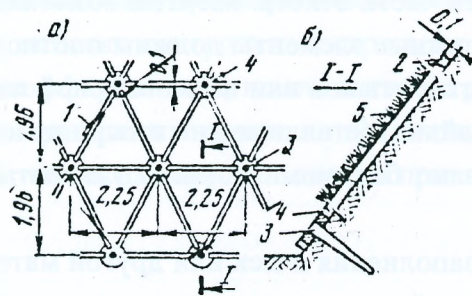


Рисунок 6.16 Схема решетчатых укреплений из сборных железобетонных элементов с монтажной плитой: а – план; б – разрез; 1 – монтажные железобетонные балочки; 2 – сечение балочки; 3 – свайки; 4 – монтажная плита; 5 – обсев травами по слою растительного грунта.

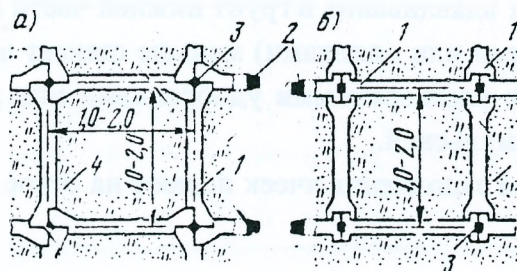


Рисунок 6.17 Решетчатое прямоугольное укрепление, прибываемое к откосу земляного полотна железобетонными свайками: а – решетки из одного сборного элемента;

б – решетки из двух элементов; 1 – сборные железобетонные элементы различных формы и размера; 2 – поперечное сечение элементов; 3 – железобетонная свайка; 4 – обсев травами по слою растительного грунта.

Ячейки между сборными элементами заполняют, растительным грунтом, производя затем посев семян или высаживая в них цветы и декоративный кустарник или засыпая камнем, щебнем, гравием. Сочетание бетонных элементов с каменной наброской и растениями, живописно размещенными по откосу, украшает общий вид дороги. Откосы, подвергающиеся временному подтоплению, укрепляют наброской из галечника и рваного камня крупностью до 150 мм, реже укрепляют грунт в ячейках различными вяжущими. В ячейках рекомендуется высаживать засухоустойчивый кустарник, а на влажных и особенно мокрых участках, наоборот, влаголюбивый, как, например, лоза, смородина и др.

Процесс укрепления откосов решетчатыми конструкциями включает подготовку фронта работ, монтаж сборных элементов и заполнение ячеек.

К подготовительным работам относят отрывку автогрейдером у подошвы укрепляемого откоса ровика для бетонного упора, в который укладывают готовые бетонные блоки размером 30×40×250 см или бетонную смесь, предварительно установив передвижную опалубку. Стыки блоков моноличивают цементным раствором состава 1:3. После засыпки пазух у упора и удаления лишнего грунта доставляют готовые элементы, разгружаемые вдоль упора автокраном.

Для безопасности рабочих на укрепляемую поверхность укладывают переносные деревянные трапы. Автомобильным краном монтируют элементы, начиная с упора, и последовательно перемещаются к верхней части откоса. Монтаж возможен лишь при влажности грунта, близкой к оптимальной. Бетонные элементы должны плотно прилегать к поверхности откоса. Когда все элементы в местах стыков или пазах опорной плиты будут подогнаны друг к другу, забивают штыри или свайки. Металлические штыри и монтажные петли сборных элементов предварительно смазывают битумом. В стыках элементы моноличивают цементным раствором.

Растительный грунт для заполнения ячеек или другой материал, предусмотренный проектом, разгружают из автомобилей-самосвалов на горизонтальной площадке у верхней бровки земляного полотна. В грунт при оптимальной влажности в соответствии с заданной дозировкой вводят семена и удобрения, перемешивая автогрейдером. Готовую смесь сдвигают на верхнюю часть откосов и распределяют откосником по ячейкам.

При гидропосеве трав перед монтажом элементов грунт на откосе разрыхляют на глубину до 10 см. Это облегчает вдавливание в грунт нижней части сборных элементов, и мульча (смесь семян с удобрениями или опилками) меньше стекает по откосу. Укрепленную поверхность поливают водой с растворенными удобрениями или для создания водонепроницаемой пленки – битумной эмульсией.

Каменный материал для заполнения ячеек подают на откос краном или экскаватором с грейферным ковшом.

6.11 Контроль качества и приемка земляного полотна

При реконструкции земляного полотна должен быть организован исключительно строгий контроль:

- а) за правильностью выбора и расположения грунтов в земляном полотне;
- б) за толщиной отсыпаемых слоев, их влажностью и плотностью;
- в) за соблюдением проектного поперечного профиля.

Контроль влажности и степени уплотнения грунта полевыми методами:

- отбор образцов грунта режущими кольцами-пробоотбирателями;
- использование радиоизотопных приборов (гамма-плотномер и нейтронного индикатора влажности);
- статическое и динамическое зондирование;
- использование ультразвуковых приборов.

При этом нужно помнить, что независимо от метода контроля чтобы достигнуть однородности уплотнения, нужно проверять плотность грунта для каждые 500 м^3 выполненных земляных работ.

При текущем контроле качества работ длину контрольного участка уплотнения, принимают равной 200 м. Количество испытаний влажности и плотности грунта для оценки уплотнения с надежностью 0,95 соответственно должно составлять 14.

При систематическом измерении влажности и плотности грунта контрольные измерения надлежит производить на трех поперечниках, расположенных через каждые 50 м. Измерения на каждом поперечнике нужно выполнить в пяти местах. Места измерения назначают с помощью таблиц случайных величин, предварительно составляя для каждого участка контрольные карты, на которых наносят контрольные карты, на которых наносят контрольные пределы среднего значения коэффициента K_0 и величины его размаха.

В тех же местах, где измерялись влажность и плотность, надо измерять и модуль упругости грунтов. Это повысит степень надежности оценки прочности и однородности земляного полотна.

7 Перестройка дорожных одежд на реконструируемых дорогах

7.1 Особенности использования старой дорожной одежды

При реконструкции дорог старую дорожную одежду можно использовать различными способами. Самый простой из них и наиболее удобный для строителей состоит в усилении старой дорожной одежды без ее уширения.

Однако реконструкция дорог практически всегда включает в себя уширение земляного полотна и проезжей части. Поэтому использование старой дорожной одежды с необходимостью ее уширения – наиболее часто встречающийся вариант.

Одностороннее уширение проезжей части усложняет работы, так как смещение оси, делает необходимым несимметричное усиление дорожной одежды. Поэтому даже при одностороннем уширении полотна сохраняют ось проезжей части неизменной. Уширение проезжей части, особенно, если оно небольшое, всегда выполняют симметрично с двух сторон. Однако при реконструкции не удастся ограничиться только уширением и усилением проезжей части. На отдельных участках приходится смягчать продольные уклоны или выравнивать пилообразную проектную линию, что вызывает необходимость поднятия рабочих отметок над существующей дорогой на большую величину, чем необходимая толщина усиления одежды. В этом случае для упрощения производства работ строят новую дорожную одежду на «погребенной» старой.

При расчетах элементов одежды нужно учесть, что «старая» одежда служит морозоустойчивым и водонепроницаемым слоем.

Иногда материалы старой дорожной одежды применяют в конструкциях новой дороги или используют на других объектах. Особые проблемы возникают при реконструкции дорог с цементобетонными покрытиями или покрытиями на цементобетонных основаниях. Их полное использование невозможно из-за потери бетоном прочности.

Таблица 7.1

Категория дороги		Варианты использования старой дорожной одежды								
		при реконструкции без изменения земляного полотна			при подъемке земляного полотна			при постройке спрямления по новому направлению		
существующая	после реконструкции	без уширения	с односторонним уширением	с двусторонним уширением	оставление одежды в теле насыпи	с использованием материалов	с удалением старой одежды	с использованием старого участка дороги	с использованием материалов	с разборкой и удалением старой одежды
V	IV	П	С	С	С	Э	Н	П	Э	–
IV	III	П	С	С	С	Э	Э	П	Э	Э
III	II	П	С	С	С	Э	Э	П	Э	Э
II	I	П	С	С	С	Э	Э	П	Э	Э

Примечание. Условные обозначения: С – решения принимают по соображениям организации работ; Э – решение принимают на основе технико-экономических расчетов; П – решение принимают на основе расчетов прочности дорожной одежды; Н – использование нецелесообразно.

Для обеспечения нормальной службы новой дорожной одежды старое цементобетонное покрытие или основание разбивают и втрамбовывают в основание. В результате уплотнения поверхность старого покрытия понижается на 3-4 см. По слою, рассматривая его при расчетах прочности дорожной одежды как укрепленное грунтовое основание, возводят новую дорожную одежду. При сохранении существующего бетонного покрытия в составе будущей дорожной одежды его засыпают слоем песка толщиной 5-10 см, обрабатывают битумом, и укладывают новое покрытие.

Различные варианты использования дорожных одежд могут быть сведены в таблицу, руководствуясь которой можно выбирать наиболее рациональный способ реконструкции (таблица 7.1).

7.2 Разборка существующих дорожных одежд

В зависимости от конструкций дорожной одежды и с учетом материалов отдельных конструктивных слоев разборку выполняют сразу на всю толщину одежды или послойно. При разборке отдельно измельчают, снимают и вывозят слои асфальтобетона. Также отдельно снимают щебеночные, гравийные, шлаковые материалы и булыжный камень разбираемых мостовых.

При разборке облегченных усовершенствованных покрытий, толщина которых превышает 8-10 см, предварительно разрыхляют и снимают обработанный вяжущим слой и используют его для устройства основания на новой дороге.

Если материал покрытия обработан вяжущим на небольшую толщину и нецелесообразно его использовать отдельно, то разбирают и взламывают дорожную одежду на всю толщину, захватывая и верхний слой песка дренирующего слоя.

Для разрыхления сборных дорожных покрытий и уплотненных грунтов можно использовать ряд машин, выпускаемых промышленностью серийно – фрезы и рыхлители.

Отметим, что сегодня в ДРСУ поступает более или менее современная техника из Германии, которая проработала там 5-7 лет.

7.3 Способы использования материалов старых дорожных одежд

Использование старых материалов из дорожных одежд необходимо обязательно обосновывать. Обычно это обоснование выполняют методом технико-экономического сравнения запроектированных вариантов дорожных одежд.

Усиление старой одежды будет экономически выгодным только при условии

$$A_n \geq A_y + A_6,$$

где A_6 – балансовая стоимость существующей дорожной одежды; A_n – стоимость нового строительства; A_6 – стоимость усиления.

Использование старых материалов целесообразно при условии:

$$A_n \geq A_p,$$

где A_p – стоимость дорожной одежды с использованием старых материалов стоимостью A_c .

Следует иметь в виду, что технико-экономические расчеты, связанные с применением материалов старой дорожной одежды имеют смысл только при условии, что материалы еще пригодны для использования в дорожной одежде.

Поэтому при изысканиях на всех характерных участках, но не реже чем в двух местах на 1 км, должны быть взяты пробы из всех конструктивных слоев одежды и песчаного дренажного слоя.

Изменения состава и качества каменных материалов при эксплуатации характеризуются следующими данными (таблица 7.2)

Таблица 7.2

Материал	Время определения состава	Массовая доля зерен, %, крупностью			
		более 50 мм	50–5 мм	5 мм– 74 мкм	менее 74 мкм
Щебень известняковый	при распределении по дороге после укатки через 4 года	100	–	–	–
		21,3	63,1	13,3	2,3
	при распределении по дороге после укатки через 3 года	7,0	59,0	29,0	5,0
		100	–	–	–
Щебень из песчаника	при распределении по дороге после укатки через 2 года	15–20	58–63	15–22	2,5
		10–15	54–60	22–30	2,5–5,0
		100	–	–	–
Гравий твердых пород	при распределении по дороге после укатки через 3 года	50	45,4	4,5	0,1
		37,3	49,5	12,7	0,5
		100	–	–	–
Гравий твердых пород	при распределении по дороге после укатки через 3 года	16,4	64,6	17,7	1,3
		15,2	64,9	18,5	1,4

В тех случаях, когда старые щебеночные и гравийные материалы прочных пород хорошо сохранились и содержат небольшое количество мелких зерен, их используют для строительства подъездных дорог, укрепления обочин и съездов на основную дорогу и в нижних слоях оснований. Для уменьшения дробления щебня при строительстве наиболее целесообразно уплотнять щебеночные основания не катками с металлическими вальцами, а катками на пневматических шинах или виброплатформами.

Для обеспечения качества не следует применять в дорожных одеждах реконструируемых дорог старые щебеночные и гравийные материалы без предварительного улучшения.

При наличии смесительных машин старый материал можно перемешивать с вяжущими на новом основании. Однако лучше производить обработку на месте разборки старой дорожной одежды и готовую смесь перевозить на новое основание.

Еще более ценным материалом на реконструируемых дорогах является асфальтобетон, который может быть успешно использован для устройства верхних слоев дорожных оснований. В этом случае для снятия старого асфальтобетона применяют машины, дробящие асфальтобетон на мелкие куски размером не более 10–15 см. Измельченный старый асфальтобетон распределяют по подготовленному нижнему слою основания (толщиной 10–12 см) и разравнивая, уплотняют тяжелыми катками. По уплотненному слою основания после обработки его горячим жидким битумом с расходом около 1 л/м² укладывают нижний слой асфальтобетонного покрытия обязательно из горячей смеси с последующей укаткой. Вместо разлива горя-

чего битума непосредственно перед укладкой горячей асфальтобетонной смеси можно разогревать уплотненный слой тепловыми машинами инфракрасного излучения.

В настоящее время все более широкое распространение получает способ регенерации старого асфальтобетона, т.е. переработки его в смесь пригодную для повторного использования. При этом регенерация старых асфальтобетонов может производиться как на специальных заводах, так и непосредственно на месте (западные технологии).

7.4 Уширение дорожных одежд

Следует помнить, что требуемая величина уширения зависит от категории реконструируемой дороги и может составлять 1,5-3,0 м и более.

Способ уширения дорожных одежд зависит:

- 1) от способов уширения земляного полотна и проезжей части;
- 2) от необходимости одновременного усиления существующей дорожной одежды.

В практике возможны следующие способы:

1. Одностороннее несимметричное уширение дорожной одежды на величину >2 м.

Технология работ следующая:

а) срезают все земляное полотно с уширяемой стороны;

б) уширяют земляное полотно ниже дорожной одежды;

в) отсыпают дополнительный слой основания;

г) по поверхности уширенного дополнительного слоя основания отсыпают и укатывают материал для уширения основания;

д) после этого устраивают выравнивающий слой и поверх него укладывают верхний слой покрытия на всю ширину проезжей части.

При уширении проезжей части на меньшую ширину до 2,0 м сохраняют старое земляное полотно, послойно его уширяя. Уширение дорожной одежды устраивают в соответствии с рекомендациями в траншее, прорываемой вдоль старой дорожной одежды. Схема такого уширения следующая (рисунок 7.1).

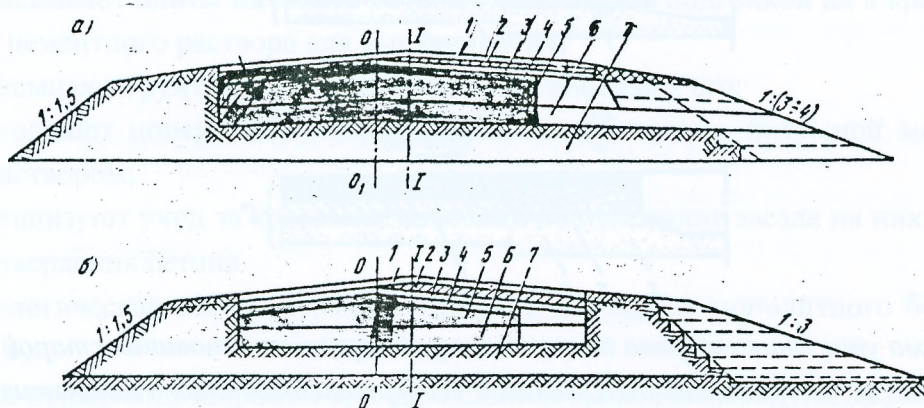


Рисунок 7.1 Схема одностороннего несимметричного уширения дорожной одежды и земляного полотна: $O-O_1$ – старая ось дорожной одежды; $I-I$ – новая ось; 1 – верхний слой нового дорожного покрытия; 2 – выравнивающий слой; 3 – верхний слой старого покрытия и продолжение его на уширении; 4 – нижний слой ста-

рого покрытия; 5 – основание; 6 – дополнительный слой основания; 7 – земляное полотно.

2. Двустороннее уширение проезжей части также может быть осуществлено двумя способами:

а) уширение только основания и перекрытие полос уширения и старого покрытия новым покрытием;

б) уширение старой дорожной одежды только на величину полос уширения, т.е. устройство краевых полос на 0,25–0,75 м.

Уширение проезжей части на 0,25 м является наиболее сложным из-за трудностей механизации технологических процессов.

Технология работ по устройству на полосе уширения дорожного основания и покрытия по существу не отличается от работ, проводимых по устройству новой дорожной одежды. Схема такого уширения следующая (рисунок 7.2).

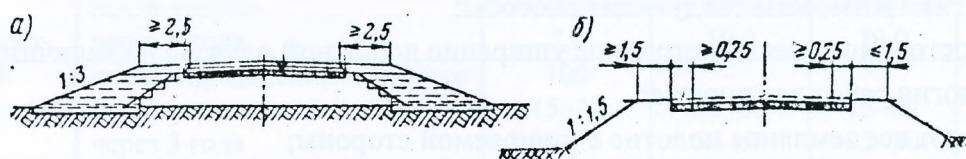


Рисунок 7.2 Двустороннее уширение дорожной одежды: а – с двусторонним уширением земляного полотна и перекрытием всей проезжей части новым верхним слоем покрытия; б – устройство краевых полос шириной по 0,25–0,75 м с каждой стороны без уширения земляного полотна.

Для обеспечения равнопрочности полосы уширения и основной дорожной одежды толщину каменных слоев уширяемой полосы принимают больше, чем в старой дорожной одежде (рисунок 7.3).

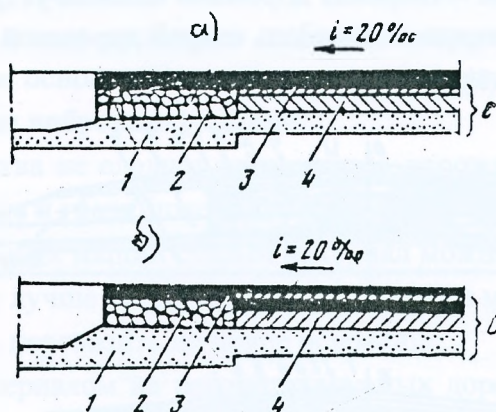


Рисунок 7.3 Схема уширения старого покрытия с расширением основания старой дорожной одежды: а – усиление облегченного усовершенствованного покрытия; б – усиление асфальтобетонного покрытия; 1 – песчаный слой; 2 – щебеночное основание; 3 – асфальтобетонный слой на всю ширину проезжей части; 4 – основание старой дорожной одежды; С – существующая дорожная одежда.

Для лучшей связи уширяемых цементобетонных покрытий с новой бетонной полосой применяется специальная конструкция плиты уширения (рисунок 7.4).

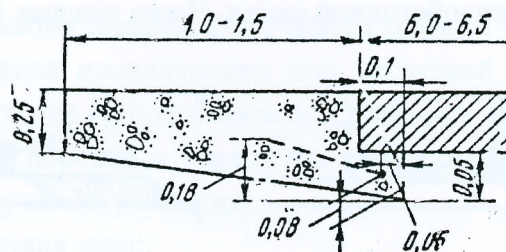


Рисунок 7.4 Схема уширения цементобетонного покрытия.

7.5 Устройство краевых полос

Известно, что краевые полосы укрепляют не только края дорожной одежды, но и повышают безопасность движения.

Как вам известно, при наличии краевой полосы и укрепленной обочины пропускная способность дорог увеличивается на 15-30 %. Кроме того, краевые полосы придают автомобильной дороге законченный вид и красивое оформление.

Краевые полосы можно устраивать:

- из сборных плит из белого бетона толщиной 6 см на обычном монолитном бетоне;
- из монолитного бетона толщиной 20-22 см;
- из асфальтобетона, укладываемого одновременно с покрытием проезжей части на том же типе основания отделяемого от основного покрытия линией разметки.

При укладке краевых плит вдоль существующего покрытия выполняют следующие рабочие операции:

- устраивают на обочине ровик для краевой полосы;
- выравнивают кромки старого покрытия, обычно имеющие неровности, наплывы и т.п.;
- выравнивают основание с распределением выравнивающего материала; укладывают и уплотняют слой цементобетонной смеси;
- укладывают плиты из белого бетона с тщательной подгонкой их к кромке покрытия и подливкой цементного раствора для выравнивания;
- присыпают грунт со стороны обочины и уплотняют его;
- заполняют поперечные и продольные швы битумом, битумной мастикой или цементным раствором;
- организуют уход за краевыми полосами во избежание заезда на них автомобилей до полного затвердения бетона.

Технологическая схема устройства краевой полосы из монолитного бетона имеет вид (рисунок 7.5).

Плиты применяют шириной 0,75 м и толщиной 0,2 м. Рекомендуют двухслойные плиты – нижний слой из обычного бетона, а верхний из белого или цветного бетона. Недостаток краевых полос из бетонных плит, в том, что бетон поверхностного слоя скоро начинает шелушиться и плиты затем разрушаются.

Более экономично устраивать краевые полосы из монолитного бетона на месте до строительства дорожной одежды. Для этого применяют боковую деревянную опалубку и пе-

редвижные бункеры для цементобетонной смеси. Через каждые 10 м обязательно устройство температурных швов.

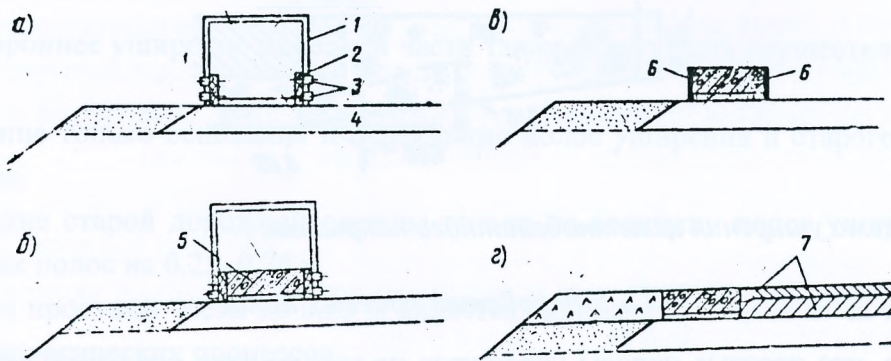


Рисунок 7.5 Последовательность устройства краевой полосы из монолитного бетона: а – установка опалубки; б – укладка бетона; в – снятие опалубки и обмазки боковых поверхностей битумом; г – укладка покрытия; 1 – металлическая рама; 2 – доски, поставленные на ребра; 3 – проушины; 4 – основание; 5 – бетон; 6 – смазки битумом; 7 – покрытие.

Краевые полосы из бетона, имеют ряд существенных недостатков. Они становятся помехой при поверхностной обработки, и тем более при укладке нового слоя покрытия.

Поэтому наиболее целесообразно устраивать краевые полосы по тому же типу, как и дорожная одежда основной дороги, увеличивая ее ширину, без специальных мероприятий, по улучшению их видимости. Эту роль должна играть краевая линия разметки.

7.6 Расчет усиления дорожных одежд

В процессе службы дорожные одежды теряют свой первоначальный вид, деформируются, что и обуславливает снижение их прочностных характеристик.

Для оценки прочности дорожной одежды в любой год ее службы T_i при постоянной интенсивности движения N_i в пределах от момента открытия движения до конечного года службы $T_{ср}$, используют зависимости вида:

$$E_t^i = a + b \lg N_{np},$$

где E_t^i – расчетный модуль упругости на время T ; a и b – постоянные коэффициенты; N_{np} – суммарное количество автомобилей прошедших за время T .

Общий вид кривой снижения прочности одежды имеет вид (рисунок 7.5а).

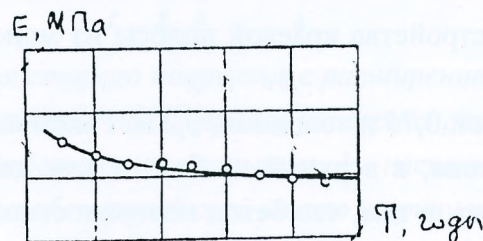


Рисунок 7.5а График зависимости $E=f(T)$.

Основные причины такого снижения прочности одежды – это «усталость» материалов и конструкций, обусловленная измельчением под нагрузкой от колес автомобилей минеральных материалов, увеличение их подвижности и полимеризация органических вяжущих.

Для расчета усиления дорожных одежд при изысканиях должны быть собраны следующие данные о дороге и участке усиления:

- 1) дорожно-климатическая зона;
- 2) тип местности по условиям увлажнения;
- 3) глубина залегания грунтовых вод;
- 4) интенсивность движения на момент реконструкции N_i ;
- 5) состав и интенсивность движения на 20-летнюю перспективу;
- 6) показатель роста интенсивности q ;
- 7) конструкция и срок службы существующей дорожной одежды;
- 8) толщины конструктивных слоев и качество материалов в них;
- 9) данные экспериментального определения прочности дорожной одежды, т.е. E_f .

Установив величину расчетного модуля E_p , приступают к конструированию и расчету. Если $E_p \leq E_f$, усиления не требуется. Если $E_p \geq E_f$, то в зависимости от категории дороги и разницы $E_p - E_f = E_{yc}$ намечают конструкцию одного или нескольких слоев усиления.

Определение толщины слоя усиления для требуемого модуля упругости, осуществляют по специальным номограммам, использование которых мы освоим на практических занятиях.

Если усиление производят одним слоем материала с модулем E , то полученная по номограмме величина h будет искомой толщиной усиливаемого слоя. Если конструкция усиления должна состоять из двух и более слоев, то все расчеты повторяют по очереди, начиная с верхнего слоя, по отношению ко всем нижерасположенным. Толщину верхнего слоя покрытия назначают по конструктивным соображениям, нижнего определяют по расчету. Определив толщины усиливающих слоев, проверяют конструкцию на растягивающие напряжения.

Если полученная величина растягивающего напряжения B на нижней поверхности слоев меньше нормативной $R_{изг}^{np}$, то прочность по изгибу обеспечена. При $B \geq R_{изг}^{np}$, необходимо изменить конструкцию слоя усиления или увеличить его толщину.

Если усиление состоит из двух и более слоев, то аналогичные расчеты проводят по очереди для каждого слоя, рассматривая все вышележащие как один слой.

При реконструкции дорог и расчете усиления нет необходимости проведения поверочного расчета на сдвиг слоев существующей одежды.

В проекте реконструкции должно быть указано, на каких участках дороги применен тот или иной вариант новой дорожной одежды и какова предусматриваемая конструкция усиления.

В тех случаях, когда существующую дорожную одежду не используют как основание для новой одежды, конструирование и расчет новой дорожной одежды ведут, как и для новых дорог.

7.7 Усиление существующих дорожных одежд

При усилении дорожных одежд необходимо иметь в виду что старые дорожные одежды обычно имеют большие поперечные уклоны, чем назначаемые для современных усовершенствованных покрытий. Смягчить поперечный уклон можно путем срезки средней части покрытия или повышения краев покрытий. Обычно по краям покрытия укладывают клинообразные слои выравнивания из каменных материалов, обработанных битумом (рисунок 7.6).

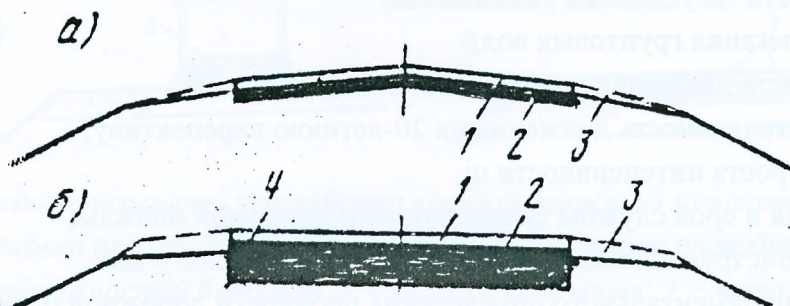


Рисунок 7.6 Схема усиления старой дорожной одежды без уширения: а – укладка нового покрытия на всю ширину старой дорожной одежды; б – то же, после укладки по краям слоев для смягчения поперечного уклона; 1 – новое покрытие; 2 – старая одежда; 3 – поднятая и укрепленная обочина; 4 – слой, смягчающий поперечный уклон.

В тех случаях, когда старая дорожная одежда имеет недостаточную прочность и непригодная для использования в качестве основания для нового покрытия, его оставляют как дополнительный слой основания. Этот вариант применяют при устройстве нового цементобетонного покрытия (рисунок 7.7).

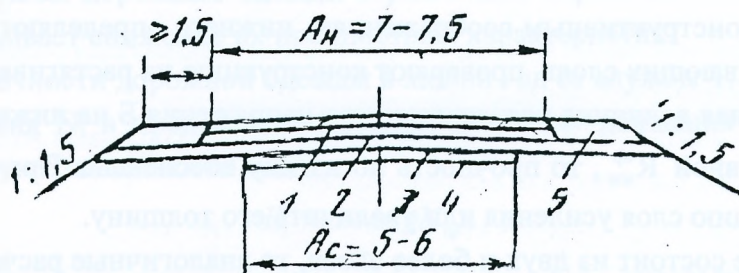


Рисунок 7.7 Схема усиления с использованием старой дорожной одежды в качестве дополнительного слоя основания: 1 – новое покрытие; 2 – новое основание; 3 – новый дренарующий слой; 4 – старая дорожная одежда; 5 – новая присыпная обочина.

Рассмотрим примеры конструктивных решений, которые применяют широко в практике для усиления и уширения дорожных одежд (рисунок 7.8).

При усилении старых дорожных одежд необходимо считаться с некоторыми их особенностями. Усиление, особенно тонкими слоями, может быть обеспечено только при прочной связи нового покрытия со старым.

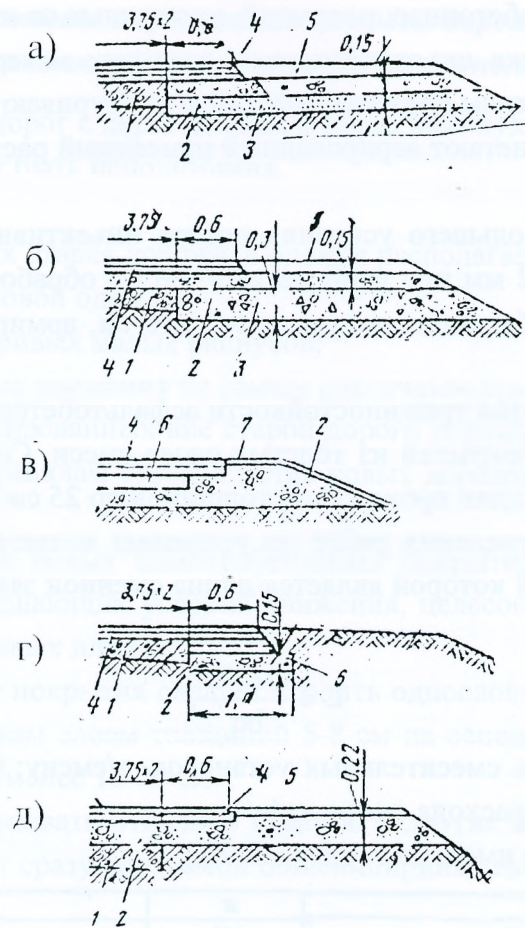


Рисунок 7.8 Примеры усиления и уширения дорожных одежд на автомобильных дорогах:

1 – существующее цементобетонное покрытие; 2 – основание – щебень или гравий; 3 – дополнительный слой основания; 4 – асфальтобетонные слои ($h=10$ см); 5 – укрепленная обочина; 6 – асфальтобетонные слои ($h=12,5$ см); 7 – одерновка.

Укладка нового свежего материала, обработанного вяжущими, на загрязненную поверхность не гарантирует необходимого сцепления между ними. Даже при укладке на тщательно очищенное старое покрытие нового слоя асфальтобетонной смеси толщиной 3-6 см через год неизбежно повторяются дефекты старого покрытия.

Следует отметить, что устройства покрытия общей толщиной 12-15 см в виде не одного монолитного слоя, а последовательно укладываемых трех слоев также не всегда достигает цели.

Учитывая это, сегодня применяют способы восстановления качества старых асфальтобетонных покрытий, обеспечивающие надежную связь между старым и новым слоями покрытия.

Один из способов состоит в разогреве, разрыхлении и «омоложении» старого асфальтобетона разливом эмульсии, приготовленной на основе нефтяных масел и смол-отходов. Эмульсия проникая в разрыхленный старый асфальтобетон на глубину до 2,5 см увеличивает связь между слоями. Для разогрева используют горелки инфракрасного.

При усилении цементобетонных покрытий, уложенных на песчаное основание, широко применяют укрепление песка инъектированием вяжущих материалов. Для этого по всей площади покрытия в шахматном порядке через 2-3 м пробуривают сквозные отверстия, через которые под давлением нагнетают аэрированный цементный раствор, битумные эмульсии и горячие битумы.

При необходимости большего усиления поверх инъективного покрытия укладывают синтетическую пленку $t=0,2$ мм или слой песка $t=5-6$ см обработанного битумом и по ним укладывают новое цементобетонное покрытие $t=14-16$ см, армированное продольной арматурой или сеткой.

Отсюда в целях снижения трещиностойкости асфальтобетонных покрытий необходимо переходить на устройство покрытий из толстых слоев смеси. Современные асфальтоукладчики могут обеспечивать за один проход слой толщиной до 25 см при ширине до 12 м.

Обязательным для проведения работ по усилению является разработка технологических карт усиления, основой которой является длина сменной захватки, определяемая по зависимости

$$L = \frac{Q \cdot 100}{bq},$$

где Q – производительность смесительных установок, т/смену; b – ширина укладываемого слоя усиления, м; q – норма расхода смеси, $кг/м^2$.

Технологическая карта имеет вид (рисунок 7.9).

№ захватки		III	IV
Длина захватки, м		430	430 (L<600)
Рабочие операции		6. Очистка покрытия от пыли и грязи	7. Подвоз и разлив битума 8. Подвоз асфальтобетонной смеси 9. Распределение асфальтобетонной смеси 10. Разогрев мест соединения слоев усиления 11. Предварительное уплотнение 12. Окончательное уплотнение
Направление потока		←	←
План потока и расстановка машин и механизмов			
Ресурсы	Исполнители	1. Водитель – 1 чел.	2. Машинист автогрейдера – 5 разряд – 1 чел. 7. Машинист асфальтоукладчика – 6 " – 1 чел. 8. Машинисты самоходных катков – 4 " – 1 чел. То же – 5 " – 1 чел. 9. Асфальтобетонщики – 4 разряд – 1 чел, 1 разд. – 2 чел. " – 5 " – 2 чел. 10. Дорожные рабочие – 2 " – 3 чел.
	Машины	1. Комбинированная дорожная машина КДМ-130-1	2. Автогрейдер – 1 (ДС-39) – (0,03) 7. Асфальтоукладчик – 1 (Д-150Б) – (0,5) 8. Каток ДУ-1-1 (0,52) 9-10. Каток ДУ-5-2 (0,62) 11. Лимейка-разогреватель – 2 (0,7)
	Материалы		1. Асфальтобетонная смесь (среднезернистая) – 198 т

Рисунок 7.9 Общий вид технологической карты на усиление покрытий.

7.8 Особенности строительства новых дорожных одежд на поднятом и на новом земляном полотне

При реконструкции дорог с переводом их в более высокую категорию на ряде участков дорожная одежда не может быть использована.

Это:

- 1) участки на которых старая дорожная одежда располагается на отметках значительно ниже проектных отметок новой одежды;
- 2) участки в местах кривых малых радиусов;
- 3) участки опасные для движения по самым различным причинам.

На участках протрассированных вне старой дороги дорожную одежду необходимо устраивать по техническим правилам строительства новых дорожных одежд. Основные из них следующие:

1. При строительстве новых цементобетонных покрытий, во избежание устройства температурных швов, ухудшающих условия движения, целесообразно применять конструкции непрерывно армированных плит.

2. Асфальтобетонные покрытия следует строить однослойными повышенной толщины или двухслойными с верхним слоем толщиной 5-8 см на основаниях из смесей, обработанных битумом толщиной не менее 15-20 см.

3. Нежелательно устраивать отдельно краевые и другие дополнительные полосы. Дорожную одежду сооружают сразу требуемой общей ширины, выделяя на ней путем разметки краевые и другие полосы.

Технологические процессы возведения дорожных одежд при реконструкции дорог и прокладке ее по новому направлению также приводят по правилам, установленным для нового строительства дороги:

А. Первым этапом разработки плана организации работ является правильное определение сроков проведения работ по строительству отдельных элементов дорожной одежды. Продолжительность работы комплексного потока по строительству дорожной одежды в рабочих сменах ($T_{\text{раб}}$) определяют по формуле

$$T_{\text{раб}} = (A_p - T_{\text{вых}} - T_{\text{кл}} - T_{\text{рем}}) K_{\text{см}},$$

где A_p – расчетные сроки проведения работы, дни; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных и праздничных дней за время A_p ; $T_{\text{вых}} = T_{\text{кал}} K_{\text{вых}}$; $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней; $K_{\text{вых}}$ – коэффициент, учитывающий число выходных дней в неделю (1 или 2); $T_{\text{кл}}$ – количество нерабочих дней (простои) по климатическим условиям (дожди и т.п.); $T_{\text{рем}}$ – количество нерабочих дней (простои) для ремонта машин и оборудования; $K_{\text{см}}$ – коэффициент сменности.

По срокам проведения работ (т.е. по их продолжительности) определяют длину захватки и рассчитывают выгодный вариант комплекта машин.

Б. Вторым этапом разработки плана является формирование специализированных потоков со всеми захватками и технологическими разрывами.

При составлении и оформлении планов потоков на каждой захватке руководствуются следующими правилами:

- перенумеровывают все рабочие процессы и распределяют их по захваткам;

– располагают машины на захватках, строго соблюдая масштаб, принятый для чертежа, пользуясь трафаретами машин, движение потоков принимают справа налево, изображая машины направленными в сторону движения потока;

– для каждой машины указывают выполняемые ею проходы, которые должны быть пронумерованы, если число проходов ограничено, они должны быть показаны все. При значительном числе повторяющихся проходов (например, при работе бульдозеров) показывают все основные повторяющиеся циклы (рабочий ход, поворот, обратный ход и установку в рабочем положении на новом месте) с указанием общего количества таких циклов (проходов по захватке);

– все машины, выполняющие на захватке какую-нибудь работу и разворачивающихся при обратных проходах по ней, должны обязательно проходить всю захватку без пропусков. Разворот делают на соседней захватке. Если по технологическим условиям проезд по соседней захватке недопустим, поскольку не закончилась твердение материалов, или возможно разуплотнение материала или искажение поперечного профиля, предусматривают съезды с дороги для разворота и возвращения машины обратно;

– при расстановке машин и установлении технологической последовательности отдельных работ учитывают все детали, обеспечивающие качество работ. Например, недопустимо движение по песчаному слою, свежееуложенному асфальтобетону и цементобетону и т.п.;

– для машин, обрабатывающих или раскладывающих материалы полосами определенной ширины (фрезы, щебнеукладчики, асфальтобетоноукладчики и т.п.), указывают ширину и последовательность проходов (желательно шириной и числом, кратными ширине всего укладываемого слоя);

– на графике перед каждым специализированным потоком размещают поперечный профиль дороги, отражающий тот уровень работ, с которого этот поток начинает свою деятельность. В конце потока, после последней захватки, показывают поперечный профиль с указанием тех работ, какие выполнены данным потоком. Поперечные профили должны иметь размеры всех слоев по ширине и толщине;

– высыпавший из автомобилей-самосвалов сыпучий материал (песок, щебень и др.) показывают на графике в виде оправленных геометрически правильной формы штабелей, с показанием мест разгрузки автомобилей-самосвалов и расстояний между центрами штабелей;

– на каждой захватке должны быть условной штриховкой или цветом показаны поверхности с различной стадией выполнения (уплотненный или неуплотненный материал и т.п.), а также границы и края россыпи различных материалов;

– в графе «Необходимые ресурсы» в разделе «Машины» приводят перечень всех применяемых на данной захватке машин. Каждой машине присваивают номер и после ее наименования указывают степень ее использования на данной захватке. Степень использования в виде части смены приводят в прямых скобках для тех машин, которые хотя и не полностью использованы, но не могут в течение смены покинуть данную захватку, в круглых скобках для машин, которые могут последовательно работать и на других захватках (например, автогудронаторы, поливомоечные машины и др.);

- при намеченном использовании отдельных машин на разных захватках учитывают необходимое время на переброску машин по ЕНиР;

- при установлении технологических схем работы каждой машины еще раз проверяют правильность схемы и возможность выполнения машиной намеченной работы. Например, иногда изображают схему снятия растительного слоя за один проход бульдозера, когда подлежащий перемещению объем грунта в несколько раз превосходит возможности машины;

№ захватки	I		II	III	
Длина захватки	800		800	800	
№ рабочих операций	1-я смена	1. Очистка основания от глыб и грязи 2. Розлив битумной эмульсии 3. Установка упорного бруса	Работы не производят	11. Подвозка мелкозернистой горячей асфальтобетонной смеси 12. Распределение смеси с обрубкой и смазкой глыбов 13. Подкатка смеси 14. Укатка тяжелыми катками с проверкой поперечного профиля и ровности	
	2-я смена	4. Подвозка крупнозернистой горячей асфальтобетонной смеси 5. Распределение смеси с обрубкой и смазкой глыбов 6. Подкатка смеси 7. Укатка тяжелыми катками с проверкой поперечного профиля и ровности		8. Очистка нижнего слоя 9. Розлив битумной эмульсии (в случае разрыва после укладки верхнего слоя более 2-х суток) 10. Подвозка упорного бруса	Завершение операции 14 15. Снятие упорного бруса
Направление потока					
План потока и расстановки машин	1-я смена				
	2-я смена				
Почасовой график использования машин	2-я смена 8 часов				
	1-я смена 8 часов				
Необходимые ресурсы	1-я смена	Здено	Первое	Второе	
		Исполнители	машинисты - 1 чел., водители - 2 ч, рабочие - 4 чел.		машинисты - 8 чел, водители - 26 чел, рабочие - 44 чел.
	2-я смена	Здено	Второе	Первое	Второе
		Исполнители	машинисты - 8 чел, водители - 26 чел, рабочие - 44 чел.	машинисты - 1 чел, водители - 2 чел, рабочие - 2 чел.	машинисты - 2 чел.
1-я смена	Машины	1. Поливомоечная машина ПМ-10 М* (0,4) 2. Автогудронатор ДС-39АМ*1 (0,24) 3. Битумный котел М*1 (1,0)		1. Асфальтоукладчик ДС-1 М*1 (1,9) 2. Самоходные катки ДУ-31А М*1-4 (0,8) 3. Самоходные катки ДУ-38 М*1 (0,8); Л*2 (0,8) 4. Автомобили-самосвалы МАЗ-503 М*1-25 (1,0) 5. Жаровня для подогрева инструмента М*1 (1,0)	
	Материалы	1. Битумная эмульсия - 0,24 т 2. Разжиженный битум - 0,04 т		1. Асфальтобетонная горячая мелкозернистая смесь - 750 т 2. Разжиженный битум - 0,02 т	
2-я смена	Машины	1. Асфальтоукладчик ДС-1 М*1 (0,9); М*2 (0,9) 2. Самоходные катки ДУ-31А 3. Самоходные катки ДУ-38 4. Автомобили-самосвалы МАЗ-503 М*1-30 (1,0) 5. Жаровня для подогрева инструмента М*1 (1,0)	1. Поливомоечная машина ПМ-10 М* (0,4) 2. Автогудронатор ДС-39АМ*1 (0,24) 3. Битумный котел М*1 (1,0)	1. Самоходные катки ДУ-38 М*1 (0,2); Л*2 (0,2)	
	Материалы	1. Асфальтобетонная крупнозернистая смесь - 100 т 2. Разжиженный битум - 0,02 т	1. Битумная эмульсия - 0,24 т 2. Разжиженный битум - 0,04 т		

Рисунок 7.10 Общий вид технологического плана потока на строительство дорожной одежды.

- в тех случаях, когда, помимо машинистов, работающих на машинах, и руководящего персонала для обслуживания машин или выполнения вручную отдельных операций учтено

участие дорожных рабочих, на захватках предполагаемое место их нахождения обозначают условным знаком (например, кружок с цифрой, обозначающий разряд рабочего);

- для обеспечения бесперебойной и качественной работы машин с автоматизированной системой управления (бульдозеров, скреперов, асфальтоукладчиков, автогрейдеров и др.) необходимо в отрядах предусматривать группу геодезистов выполняющих нивелировку и протягивающих шнур или проволоку, по которым скользят рычаги следящих систем автоматизированных машин;

- при выполнении нескольких операций на одной захватке и при сложности расчетов по использованию машин на разных захватках одновременно с планом потока по каждой захватке составляют почасовые графики использования машин.

Эти краткие правила при их соблюдении позволяют составить технико-экономически оправданные планы потоков и работы их подразделений с максимальным использованием машин.

Нужно помнить, что конечным проектно-технологическим документом является технологический план потока на строительство дорожных одежд. Его общий вид следующий (для двухсменной работы) (рисунок 7.10).

8 Организация работ при реконструкции автомобильных дорог

8.1 Особенности организации работ при реконструкции дорог

Отметим, что условия организации работ при реконструкции и при новом строительстве автомобильных дорог различны.

Организация работ при реконструкции имеет следующие основные особенности:

- а) необходимость обеспечения на период реконструкции удовлетворительных условий движения транспорта;
- б) неудобство или невозможность использования обычных средств механизации;
- в) необходимость разработки индивидуальных технологических схем;
- г) повышенная энергоемкость и соответственно повышенная себестоимость единицы строительной продукции.

Отсюда возможно несколько основных вариантов организации работ:

- 1) дорожно-строительная организация, обладающая необходимыми ресурсами, выполняет работы (обычно на подрядных началах) по реконструкции всей дороги одним потоком;
- 2) реконструкция проводится одной подрядной дорожно-строительной организацией поэтапно, т.е. по участкам очередности;
- 3) улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дороги осуществляется силами эксплуатационных организаций.

Такой вариант может быть оправдан при малых объемах финансирования и недостаточности материально-технических ресурсов.

Реконструируют в первую очередь только наиболее неблагоприятные для движения места.

Недостатки подобной организации реконструкции заключаются в том, что, во-первых, на дороге все время (в течение многих лет) производят работы, а это ухудшает условия движения и, во-вторых, на дороге все время имеются смежные участки с различными техническими параметрами и отличающимися условиями движения. Последнее также снижает безопасность движения.

Выбор организационного решения реконструкции, в конечном счете, определяют расчетами экономической эффективности возможных вариантов с учетом транспортно-эксплуатационной характеристики дороги, конкретных условий производства работ, а также объемов финансирования, наличия производственной базы и других материально-технических ресурсов.

8.2 Определение очередности производства работ по участкам дороги и видам работ

Для определения очередности реконструкции участков дороги наряду с экономическими критериями следует рассматривать совокупность следующих показателей:

- а) количество и характер дорожно-транспортных происшествий;
- б) средние скорости движения автомобилей;
- в) интенсивность и состав движения;

г) виды и объемы работ для обеспечения пропуска движения по дороге на период производства работ

В проектах организации работ следует учитывать как потребности транспорта, так и необходимость создания благоприятных условий для производства работ дорожно-строительными организациями. Во всех вариантах организации работ должно быть предусмотрено обеспечение планового снижения себестоимости и повышения производительности труда. Это требование вступает в некоторое противоречие с выполнением реконструкции не по потоку, а в порядке очередности на различных участках.

Поэтому выбор окончательной схемы организации работ по реконструкции дороги базируются на сопоставлении расходов строительной организации, вызванных дополнительными передислокациями с экономическим эффектом, получаемым народным хозяйством благодаря ускоренной реконструкции наиболее неудовлетворительных участков дороги.

Посмотрим этот выбор на конкретном примере (рисунок 8.1).

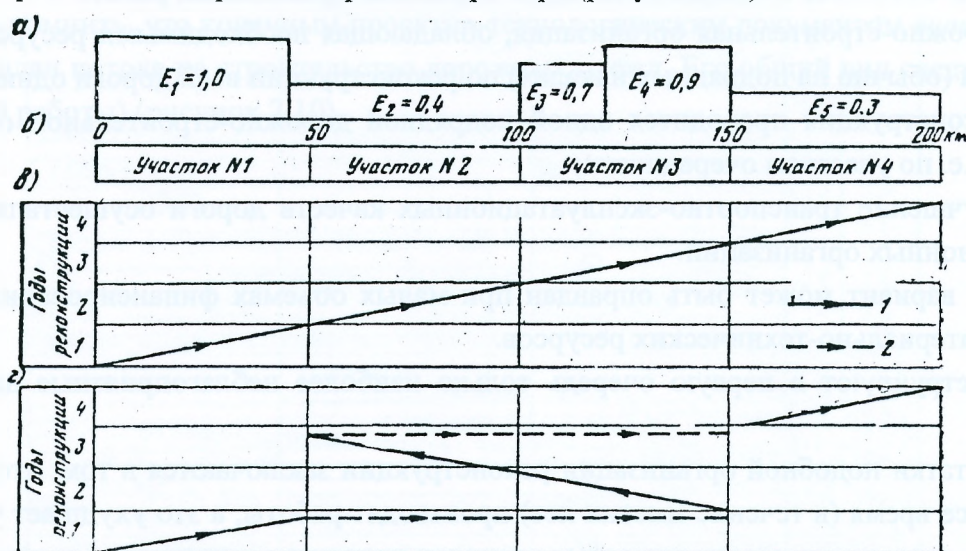


Рисунок 8.1 Варианты организации комплексного потока, учитывающие и неучитывающие экономическую эффективность реконструкции дороги: а – эюра экономической эффективности реконструкции (в условных единицах); б – разбивка на участки пропорционально годовым объемам работ; в – схема комплексного потока, действующего в одном направлении (вариант 1); г – схема комплексного потока, направление которого определяется экономической эффективностью реконструкции отдельных участков (вариант 2); 1 – направление действующего потока; 2 – направление передислокации дорожно-строительных подразделений.

Рассмотрены два варианта организации работ: разбивка всей дороги на пять участков по различной экономической эффективности реконструкции (а); разбивка дороги на четыре годовых участка в соответствии с объемами работ, которые может выполнить в течение года строительная организация (б). В принятой организации работ сохранена разбивка на четыре годовых участка, но очередность работ в основном увязана с эюрой эффективности реконструкции (г). При этом возникает необходимость производить дополнительную передисло-

кацию всего комплексного потока на расстоянии в 100 км дважды – в конце первого года строительства и в конце третьего.

Экономический эффект от повышения скорости движения, снижения себестоимости перевозок и уменьшения количества дорожно-транспортных происшествий за период реконструкции будет различным при различных схемах организации производства работ. При выполнении работ одним потоком от города N к городу M на первом по порядку участке выгоды реконструкции реализуются в течение 1 года. По варианту 2 выгоды реконструкции реализуются на втором участке в течение 1 года, на третьем – в течение 2 лет.

Экономический эффект для народного хозяйства, выражающийся в снижении себестоимости перевозок, уменьшении количества дорожно-транспортных происшествий и прочее благодаря принятию более рациональной схемы организации реконструкции дороги с перестройкой в первую очередь участков с наиболее неудовлетворительными транспортно-эксплуатационными показателями, будет равен:

$$\Delta \Sigma \mathcal{E} = \Sigma \mathcal{E}_1 - \Sigma \mathcal{E}_2,$$

где $\Sigma \mathcal{E}_1$ и $\Sigma \mathcal{E}_2$ – суммарный экономический эффект для народного хозяйства за период производства работ благодаря ежегодному вводу в эксплуатацию законченных участков дороги соответственно для 1-го и 2-го вариантов организации реконструкции.

Величину $\Sigma \mathcal{E}$ нужно сравнить с затратами на передислокацию. Передислокация будет экономически оправдана, если

$$\Delta \Sigma \mathcal{E} \geq \Sigma C_{п,к,п},$$

где $\Sigma C_{п,к,п}$ – сумма всех расходов на передислокацию комплексного потока.

При окончательном решении необходимо анализировать структуру сумм получаемой экономии. В общем случае ее величина, вычисленная по основным показателям, равна

$$\Sigma \mathcal{E} = \mathcal{E}_v + \mathcal{E}_п,$$

где \mathcal{E}_v – экономический эффект от снижения себестоимости перевозок грузов в результате повышения скорости движения; $\mathcal{E}_п$ – экономический эффект от уменьшения количества дорожно-транспортных происшествий.

8.3 Мероприятия по обеспечению пропуска движения в период производства работ по реконструкции дороги

В общей схеме организации реконструкции дорог существенное значение имеет организация движения автомобилей на участках производства работ.

Пропуск движения можно осуществлять по следующим вариантам:

- а) по объездам, устроенным параллельно реконструируемой дороге, с дорожной одеждой простейших типов;
- б) по временным дорогам, устроенным параллельно реконструируемой дороге, со сборно-разборным железобетонным или металлическим покрытием;
- в) по одной из половин реконструируемой дороги.

По техническим правилам ремонта и содержания автомобильных дорог объезд должен быть таким, чтобы обеспечивать движение со скоростью не менее 30 км.

Иногда целесообразно часть движения переключить на параллельные дороги, что в значительной степени разгружает объезды и соответственно снижает требования к ним.

В большинстве случаев на объездах устраивают земляное полотно по облегченным техническим условиям с дорожными одеждами простейших типов – гравийными, шлаковыми, грунтовыми, улучшенными крупноскелетными добавками и т.д. При интенсивности движения более 1000 авт/сут целесообразно устраивать колейные сборно-разборные покрытия, допускающие многократное повторное использование.

Типы поперечных профилей временных объездов обычно применяют следующие (рисунок 8.2).

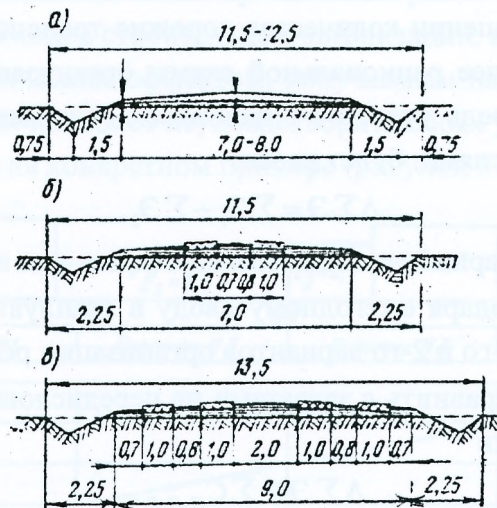


Рисунок 8.2 Типы поперечных профилей временных объездов: а – гравийное покрытие серповидного профиля; б – однопутное бетонное собранное колейное покрытие; в – то же, двухпутное.

При весьма высокой интенсивности движения (более 15000 авт/сут) на объездах могут быть устроены сплошные покрытия из бетонных плит размерами 3,0x3,5x0,18 м и др.

Во всех случаях наибольшие затруднения с устройством объездов встречаются при пересечении водотоков или других подобного рода препятствий (железных дорог, каналов и т.д.).

Рассмотрим экономическое обоснование трех основных вариантов пропуска движения при реконструкции дороги:

1. Устройство объезда параллельно реконструируемой дороге. При благоприятных грунтовых и гидрогеологических условиях можно ограничиться устройством профилированной грунтовой дороги. Дорожные одежды простейших типов (гравийные, грунтощебеночные) строят только в пониженных местах.

Сумма затрат $C'_{c,o}$ строительной организации на обеспечение автомобильного движения по объезду

$$C'_{c,o} = C_c + C'_3 + C_o,$$

где C_c – стоимость строительства объездного пути с учетом съездов с основной дороги; C'_3 – расходы на поддержание объездного пути в проезжем состоянии и на периодическую бук-

сировку автомобилей; C_o – расходы на временное отчуждение полосы земли для устройства объезда и последующее восстановление ее пригодности для сельского хозяйства.

Кроме того, пародное хозяйство терпит убытки от повышения транспортных расходов при проезде автомобилей по объезду. Общая сумма затрат и убытков для народного хозяйства $C'_{н,х}$ может быть выражена следующим уравнением:

$$C'_{н,х} = C_c + C'_э + C_o + C'_т + C_{пр},$$

где $C'_т$ – убытки от увеличения транспортных расходов при проезде автомобилей по объезду; $C_{пр}$ – убытки от периодических простоев во время распутицы.

2. Устройство вдоль всей реконструируемой дороги облегченного профилированного земляного полотна, на которое параллельно участкам производства работ укладывают сборно-разборные покрытия (железобетонные или металлические). Эти покрытия обеспечивают пропуск движения по объезду без перерывов и с меньшим снижением скорости. Объезд со сборно-разборным покрытием делят на три участка. На первом производят разборку использованного покрытия, на втором (основном) идет движение автомобилей, третий участок готовят к пропуску движения, укладывая на нем покрытие из элементов, подвозимых с первого участка (рисунок 8.3).

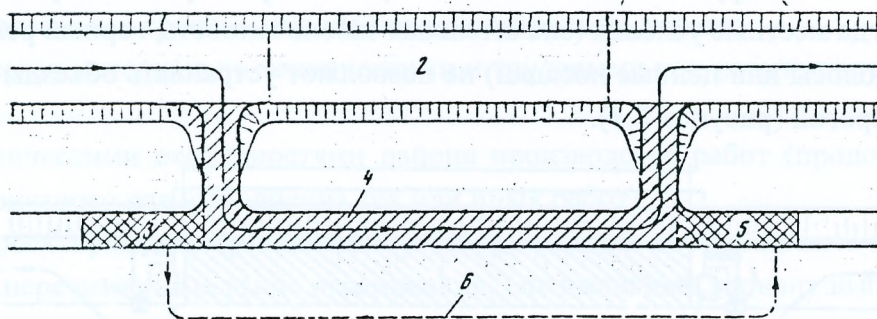


Рисунок 8.3 Схема устройства объезда со сборно-разборным покрытием: 1 – реконструируемая дорога; 2 – участок производства работ по реконструкции; 3 – участок разбираемого сборного покрытия; 4 – участок эксплуатируемого объезда со сборно-разборным покрытием; 5 – участок укладки сборного покрытия; б – транспортирование плит покрытия.

При этом варианте устройства объезда сумма затрат строительной организации на обеспечение автомобильного движения $C''_{с.о}$ по объезду может быть определена по следующей формуле:

$$C''_{с.о} = C_{сз} + \ell C_{п} + N C_{м} + C'_э \frac{\ell}{2} + C_o,$$

где $C_{сз}$ – стоимость строительства земляного полотна на объезде, включая съезды на основную дорогу, руб.; ℓ – протяженность участка сборных покрытий, км; $C_{п}$ – стоимость изготовления (или приобретения) 1 км сборно-разборных покрытий франко-место укладки, руб.; N – количество сборок и разборок сборно-разборных покрытий за весь период работ; $C_{м}$ – суммарная стоимость монтажа и демонтажа одного участка сборно-разборных покрытий,

включая транспортные расходы в пределах рабочей зоны, руб.; C''_3 – стоимость содержания и ремонта 1 км объездного пути, руб.

Общая сумма затрат и убытков для народного хозяйства $C''_{н.х}$ будет определяться уравнением

$$C''_{н.х} = C_{с.з} + \ell C_{п} + NC_{м} + C_3 \frac{\ell}{2} + C_0 + C_T,$$

где C''_T – убытки от увеличения транспортных расходов при движении автомобилей по объезду.

При экономической оценке этого варианта необходимо проверять, чтобы количество необходимых перекладок N сборно-разборных покрытий не превышало числа перекладок, допустимых по технической характеристике конструкций этих покрытий. В противном случае необходимо предусматривать повторные затраты на приобретение дополнительных комплектов плит.

Обычно этот вариант оказывается предпочтительным при значительной интенсивности движения, а также при неблагоприятных грунтовых условиях и повышенном увлажнении.

3. Производство работ по реконструкции поочередно на половине ширины дороги при пропуске движения по другой половине. Этот вариант характерен для организации работ в тех случаях, когда местные условия (значительная заболоченность, горный рельеф, застройка придорожной полосы или ценные посадки) не позволяют устраивать объезды рядом с реконструируемой дорогой (рисунок 8.4).

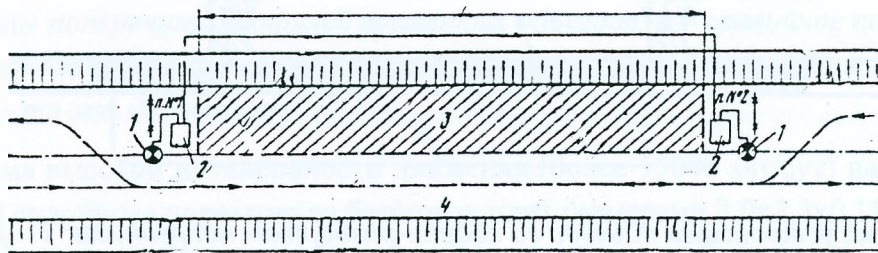


Рисунок 8.4 Схема регулирования при челночном движении автомобилей на одной половине ширины проезжей части дороги: 1- светофор; 2- счетчик автомобилей; 3- полоса производства работ; 4- полоса для движения автомобилей.

Сумма расходов $C'''_{с.о}$, связанных с пропуском движения без устройства объездов по половинам ширины дороги, для строительной организации характеризуется следующим уравнением:

$$C'''_{с.о} = C'''_3 + C_{с.д} + C_{р.д},$$

где C'''_3 – расходы на содержание и ремонт полосы, по которой пропускают движение; $C_{с.д}$ – дополнительные расходы (удорожание) при производстве работ по половинам ширины проезжей части дороги; $C_{р.д}$ – расходы на регулирование движения.

Для народного хозяйства общую сумму затрат и убытков $C'''_{н.х}$ можно определить по уравнению:

$$C_{HX}''' = C_{Э}''' + C_{СД} + C_{РД} + C_{Т}''',$$

где $C_{Т}'''$ – убытки от периодического простоя транспорта при поочередном пропуске одностороннего движения («челночном» способе пропуска движения).

Рассмотренные варианты не охватывают всего многообразия мероприятий по пропуску движения, возможных в конкретных условиях каждого строительства. На различных участках одной реконструируемой дороги может оказаться целесообразным применение различных способов обеспечения движения.

Критерием выбора оптимальной схемы следует считать минимум суммарных затрат и убытков, определенных для народного хозяйства, т.е. такую организацию пропуска движения в период реконструкции, при которой $\sum C_{HX} \rightarrow \min$. Необходимо также определять суммы расходов строительной организации по обеспечению пропуска движения ($\sum C_{С.О}$). Эти расходы должны быть предусмотрены в смете на реконструкцию дороги.

8.4 Выбор скоростей строительных потоков

Скорости специализированных и комплексных потоков дорожно-строительных работ определяются в основном тремя факторами:

- а) установленными сроками окончания реконструкции дороги;
- б) наличными материально-техническими и трудовыми ресурсами и возможностями их усиления;
- в) климатическими особенностями района производства работ (продолжительностью сезона, благоприятного для выполнения тех или иных работ).

В ходе проектирования организации работ разрабатывают различные варианты, укладываемые в перечисленные выше ограничения. Оптимальный вариант выбирают, используя в качестве критерия величину приведенных затрат по каждому варианту:

$$P = C + E_{II}K,$$

где P – приведенные затраты, представляющие собой сумму текущих и единовременных затрат, приведенных к годовой размерности; C – текущие затраты (себестоимость строительно-монтажных работ); K – единовременные затраты (стоимость производственных фондов); E_{II} – нормативный коэффициент эффективности в строительстве.

Более эффективным следует считать вариант, по которому приведенные затраты будут меньшими.

При сравнении вариантов организации работ, предусматривающих различные продолжительности строительства в городах, затраты всех лет приводят к году завершения строительства. В этом случае приведенные затраты за весь период строительства определяют с учетом разновременности.

Для объективной оценки всех результатов повышения скорости строительных потоков следует учитывать также экономический эффект, получаемые народным хозяйством в результате сокращения сроков реконструкции дороги.

Сокращение продолжительности реконструкции, рассчитанной на 1 год, можно определить по формуле

$$t_{\text{год}} = 1 - \frac{V_1}{V_2},$$

где $t_{\text{год}}$ – сокращение продолжительности реконструкции, выраженное в долях единицы; V_1 и V_2 – скорости двух сравниваемых вариантов строительных потоков в одинаковых единицах измерения; $V_1 < V_2$.

8.5 Современные проблемы организации работ по реконструкции дорог

Наиболее сложной организация работ бывает при перестройке дороги II и III категории в дорогу I категории. Резкое отличие параметров дороги до реконструкции и после вызывает необходимость выполнения больших объемов работ, усложняет и удорожает технологию производства работ.

При перестройке дорог низших категорий значительной протяженности в дорогу I категории весьма существенным является вопрос организации пропуска движения. На первый взгляд наиболее целесообразно сохранить существующую дорогу для пропуска движения, построить рядом на всем протяжении дополнительное земляное полотно и отдельно новую проезжую часть, затем перевести на нее движение и перестроить в соответствии с нормативами I категории существующее земляное полотно и дорожную одежду.

Однако, как показывают опыт и теоретические расчеты, такое решение будет рациональным только в том случае, если: протяженность реконструируемой дороги относительно невелика (30-50 км); производственные предприятия (битумные базы, асфальтобетонные или цементобетонные заводы и т.п.) будут удовлетворительно загружены в течение всего периода реконструкции и могут обеспечить выдачу своей продукции к любому месту работ на дороге без дополнительной передислокации.

Положение коренным образом изменяется при реконструкции магистрали большой протяженности, когда сроки работ составляют несколько лет. В течение периода строительства комплексный поток должен дважды пройти по всей дороге. Вначале необходимо построить дополнительное земляное полотно и новую проезжую часть, затем перестроить существующее земляное полотно и дорожную одежду. При этом приходится дважды передислоцировать производственные предприятия: сначала для обеспечения первого потока, затем второго. Возможны случаи, когда при работе второго потока производственные предприятия будут возвращаться на прежние места размещения.

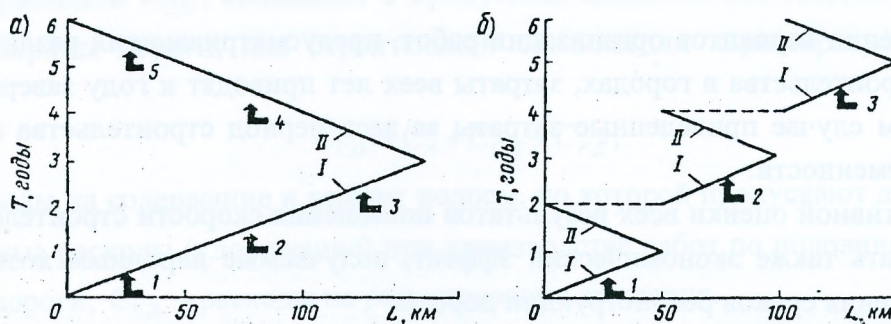


Рисунок 8.5 Графики организации реконструкции дороги III категории по нормативам I категории: а – вариант 1; б – вариант 2; I – комплексный поток по строитель-

ству дополнительного земляного полотна и новой проезжей части; II – комплексный поток по перестройке существующего земляного полотна и дорожной одежды; 1, 2, 3, 4, 5 – монтаж асфальтобетонного завода.

В качестве примера рассмотрим два варианта организации реконструкции автомобильной дороги III категории протяженностью 150 км в I категорию (рисунок 8.5).

Общий срок реконструкции – 6 лет. По варианту 1 в течение первых 3 лет возводят дополнительное земляное полотно и устраивают на нем новую проезжую часть. Затем в следующие 3 года перестраивают существующее земляное полотно и существующую дорожную одежду. Первые 3 года движение осуществляется по старой существующей дороге. По мере готовности частично используется новая полоса одежды.

На четвертый год строительства движение полностью переключают на новую полосу. По мере готовности вводят в эксплуатацию обе отдельные полосы четырехпутной проезжей части.

При такой организации работ комплексный поток дважды перемещается по всей дороге. Соответственно с этим необходимо переносить производственные предприятия, организовывать размещение и перевозку рабочих. Так, например, асфальтобетонный завод необходимо монтировать 5 раз, причем на пятом и шестом году работ (4-й и 5-й монтаж) повторно на тех же местах, где он был размещен в первый и второй год строительства.

По варианту 2 в течение 2 лет полностью перестраивается по нормативам I категории участок дороги протяженностью 50 км, обслуживаемый одним асфальтобетонным заводом. Остаются неизменными в течение 2 лет различные бытовые и складские помещения. Перебазирование на второй участок происходит 2 раза, а не 4, как предусматривалось в варианте 1. Экономия только на сокращении работ по монтажу и демонтажу АБЗ составляет несколько десятков тысяч рублей. Дорога вводится в эксплуатацию по участкам протяженностью 50 км каждые 2 года.

Недостатком варианта 2 является неравномерность объемов и видов работ по годам. Каждый год строители должны переходить от нового строительства к перестройке существующей дорожной одежды и наоборот. А также объемы работ на второй, четвертый и шестой год реконструкции (при перестройке существующей проезжей части) будут меньше и, следовательно, скорость их выполнения может быть больше или же можно будет уменьшать количество используемых ресурсов. Кроме того, меняется технологическая специфика работ.

В конечном итоге окончательное решение может быть принято после тщательного технико-экономического сравнения обоих вариантов. В рассматриваемом примере более выгодным оказался вариант 2.

9 Эффективность реконструкции автомобильных дорог

9.1 Критерий экономической эффективности проектных решений

В соответствии с принятыми в республике основополагающими принципами экономической эффект капиталовложений в различных отраслях производства (в том числе и в дорожной) определяется величиной экономии затрат общественного труда на производство определенного количества продукции или достигнутой в результате применения общественно-го труда разницей в стоимости продукции.

Основным методом определения эффективности капиталовложений в дорожное строительство является метод сравнительной эффективности, показывающий, насколько один вариант капиталовложений эффективнее другого. Кроме того, метод сравнительной эффективности используют для сравнения вариантов проектных решений с целью обоснования наиболее экономичных и эффективных.

В качестве показателя сравнительной эффективности для выбора наилучшего варианта проектных решений принимают величину приведенных затрат или коэффициента сравнительной эффективности, определяемых на основе соизмерения приведенных строительных и эксплуатационных расходов по вариантам.

$$P_{npi} = K_{npi} E_n + C_{pi};$$
$$P_{npi} = K_{npi} + \frac{C_{pi}}{E_n};$$
$$P_{npi} = \frac{E_n}{E_{n,n}} K_{npi} + \sum_1^{T_c} C_{ii} r_t;$$
$$E_{kci} = \frac{\sum_1^{T_c} C_{ic} r_t - \sum_1^{T_c} C_{ii} r_t}{\frac{E_n}{E_{n,n}} (K_{npi} - K_{npc}) \sum_1^{T_c} r_t};$$
$$r = 1 / (1 + E_{in})^t;$$

где K_{npi} – приведенная к одному моменту величина единовременных затрат по каждому из i вариантов капиталовложений; C_{pi} – расчетная величина годовых текущих затрат по каждому из i вариантов, определенных на год t_p ; C_{ii} – величина текущих затрат в год t ; E_n – нормативный коэффициент сравнительной эффективности, принимаемый равным 0,12; $E_{n,n}$ – норматив для приведения разновременных затрат, равный 0,08; r_t – коэффициент приведения затрат t -го года к исходному году (в качестве исходного обычно принимают год ввода дороги в эксплуатацию после строительства или реконструкции); T_c – срок суммирования затрат (срок сравнения вариантов); t – период времени в годах от года, когда осуществляются затраты, до года приведения; P_{npi} – суммарные приведенные затраты по i -му варианту; E_{kci} – коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений i -го варианта.

Индекс «с» характеризует вариант с существующими дорожными условиями.

В наиболее общих случаях сравнения вариантов, когда характер роста текущих затрат не соответствует указанным выше условиям, или сравнение вариантов производится на ос-

нове сопоставления затрат за срок, не превышающий 30 лет, сравнительная эффективность вариантов выявляется сопоставлением суммарных приведенных затрат. Наиболее эффективным считают вариант, имеющий наименьшую (минимальную) величину суммарных приведенных затрат.

При оценке народнохозяйственной эффективности вариантов и целесообразности включения их в планы реконструкции наиболее эффективным вариантом проектных решений, выбираемых на основе соизмерения величин коэффициентов сравнительной эффективности, считают вариант с наибольшей (максимальной) величиной показателя.

Для вариантов, имеющих коэффициенты эффективности меньше нормативного, принимаемого в настоящее время равным 0,12, строительство или реконструкция считаются нецелесообразными вследствие их низкой эффективности.

9.2 Особенности методики расчетов экономической эффективности при реконструкции автомобильных дорог

Ввиду разнообразия конкретных условий для каждого случая реконструкции дороги всегда возможны несколько вариантов технических решений, требующих различных по величине капиталовложений и дающих различный экономический эффект. Поэтому оптимальное решение при реконструкции отыскивают обычно методом вариантного проектирования.

Состав и характер технико-экономических расчетов по обоснованию эффективности реконструкции следует согласовывать с задачами и способами выполнения конкретных видов работ и общей схемой организации работ по реконструкции.

Строительные работы при реконструкции дорог могут выполняться:

1) одним строительным потоком, движущимся в одном направлении со скоростью, обеспечивающей наиболее эффективное использование технических ресурсов строительной организации;

2) одним строительным потоком, выполняющим работы по очередям строительства (при многолетней программе работ на одной дороге) с разбивкой на очереди по участкам, обеспечивающим выполнение годовой программы строительной организации без передислокации в течение сезона;

3) по участкам в соответствии со стадийной схемой улучшения транспортно-эксплуатационных качеств дороги.

Организация работ по каждой из этих трех схем требует выполнения различных по составу и методике технико-экономических расчетов, которые классифицированы. Давайте их сведем в таблицу 9.1 для анализа.

Вследствие того, что основной функцией автомобильных дорог является обеспечение перевозок грузов и пассажиров (транспортная функция), в качестве расчетных рекомендуются следующие удельные показатели, основанные на учете транспортной работы:

– себестоимость транспортной работы (коп/авт-км) c_i , являющаяся характеристикой текущих затрат;

– удельная капиталоемкость варианта (коп/авт-км) k_i , являющаяся характеристикой единовременных затрат.

Таблица 9.1

Задачи технико-экономических расчетов для различных схем организации строительных работ	Состав расчетов по оценке эффективности реконструкции
<p>Схема 1</p> <p>Выбор оптимальных проектных решений по отдельным конструктивным элементам.</p> <p>Оценка народнохозяйственной целесообразности осуществления реконструкции.</p>	<p>Расчеты на основе использования методов технико-экономического проектирования.</p> <p>Обоснование размеров капиталовложений. Расчеты эффективности капиталовложений включая определение единовременных и текущих затрат в целом по дороге, расчет показателей сравнительной эффективности, оценку эффективности реконструкции для дороги в целом.</p>
<p>Схема 2</p> <p>Выбор оптимальных проектных решений по отдельным конструктивным элементам.</p> <p>Выявление очередей проведения работ по реконструкции.</p> <p>Оценка народнохозяйственной целесообразности осуществления реконструкции.</p>	<p>Расчеты на основе использования методов технико-экономического проектирования.</p> <p>Расчеты экономического критерия очередности реконструкции; назначение очередей строительства в соответствии с программой ежегодных работ строительной организации.</p> <p>Обоснование размеров капиталовложений. Расчеты эффективности капиталовложений.</p>
<p>Схема 3</p> <p>Выбор оптимальных проектных решений по отдельным конструктивным элементам.</p> <p>Выявление первоочередных объектов реконструкции.</p>	<p>Расчеты на основе использования методов технико-экономического проектирования.</p> <p>Расчеты экономического критерия очередности реконструкции.</p>

Сравнительную экономическую эффективность вариантов можно рассчитывать по следующим формулам:

$$E_{кел} = \frac{\Delta \bar{c}_i}{\Delta k_i};$$

$$\Delta \bar{c}_i = \bar{c}_c - \bar{c}_i;$$

$$\Delta k_i = k_{np} - k_{npe},$$

где $\bar{\Delta c}_i$ – средневзвешенное за срок сравнения (срок службы наиболее долговечного варианта) приращение себестоимости перевозок для сравниваемого варианта по отношению к себестоимости перевозок по эталонному варианту; \bar{c}_c – показатель себестоимости для эталонного варианта (в существующих дорожных условиях); \bar{c}_i – то же, по i -му варианту; Δk_i – приращение удельных приведенным капитальных вложений (капиталоемкости) по каждому из i вариантов; k_{np} и k_{npe} – соответственно удельные приведенные капиталовложения по i -му варианту и в существующих дорожных условиях.

При этом срок сравнения следует принимать для всех вариантов одинаковым и равным сроку службы наиболее долговечного варианта.

Если срок сравнения вариантов (срок службы наиболее долговечного варианта) превышает 30 лет, показатели себестоимости рекомендуется вычислять на объем перевозок расчетного года. Расчетный год эксплуатации t_p устанавливают с учетом темпов ежегодного прироста интенсивности согласно требованиям.

9.3 Определение размеров единовременных и текущих затрат при реконструкции автомобильных дорог

Расчеты экономической эффективности реконструкции дорог основываются на соизмерении единовременных и текущих затрат по вариантам проектных решений.

Для технико-экономических расчетов по обоснованию эффективности реконструкции должны быть определены интенсивность и состав движения (объем перевозок) на отчетный и перспективный годы; установлены закономерность изменения интенсивности на перспективу; среднее расстояние перевозок грузов и пассажиров; скорости транспортных потоков; количество дорожно-транспортных происшествий по участкам.

Для определения величины единовременных затрат при реконструкции дорог требуются следующие данные по вариантам проектных решений:

- капитальные вложения, необходимые для реконструкции дороги (ее участка);
- последующие затраты на капитальные ремонты дороги и ее сооружений в течение срока сравнения вариантов ($K_{к.р.i}$);
- дополнительные капитальные вложения в автомобильный транспорт, необходимые для освоения ежегодного возрастающего объема перевозок (K_{tai});
- остаточная стоимость основных фондов с учетом их ликвидации;
- стоимость оборотных фондов.

При оценке эффективности реконструкции в состав текущих затрат рекомендуется включать:

- дорожно-эксплуатационные затраты $C_{ли}$, включая расходы на текущий ремонт, содержание и средние ремонты (отнесенные к одному году межремонтного срока службы);
- автотранспортные затраты, включающие расходы на осуществление перевозок грузов и пассажиров C_{tai} в пределах границ сравнения вариантов;
- народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени пассажиров в пути следования $C_{твi}$;
- народнохозяйственные потери, связанные с изъятием под дорогу продуктивных земель $C_{тзi}$;
- народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями $C_{тпi}$;
- потери в нетранспортных отраслях народного хозяйства, возникающие в условиях работы на неблагоустроенной дорожной сети $C_{тнi}$.

9.4 Учет режимов движения при оценке экономического эффекта от реконструкции дорог

Проводимые при реконструкции автомобильных дорог конструктивные мероприятия по их влиянию на режим и безопасность движения можно разделить на три группы:

1) воздействующие на режим движения и устраняющие несоответствие между существующими и требуемыми показателями, по обеспечению эффективности и безопасности движения;

2) обеспечивающие улучшение транспортных качеств дороги вследствие повышения скорости движения при неизменных или незначительно меняющихся показателях безопасности;

3) способствующие снижению количества или тяжести дорожно-транспортных происшествий без существенного изменения режимов движения на дороге.

Наиболее полные расчеты требуются при оценке эффективности мероприятий 1-й группы. При расчетах эффективности конструктивных мероприятий, относящихся по влиянию на режим и безопасность движения ко 2-й и 3-й группам, можно применять упрощенные методы оценки эффективности.

Уровень разработки методов оценки экономической эффективности в дорожном строительстве в настоящее время позволяет определить следующие виды экономического эффекта в различных отраслях народного хозяйства вследствие конструкции дороги:

– эффект, получаемый на автомобильном транспорте от снижения затрат на перевозки грузов и пассажиров вследствие возрастания скоростей движения транспортных потоков, сокращения пробега автомобилей и улучшения состояния дорожных покрытий \mathcal{E}_v ;

– эффект, возникающий вследствие снижения потребности в капиталовложениях в автомобильный транспорт в связи с сокращением расстояния перевозок и увеличением скоростей движения \mathcal{E}_a ;

– эффект от уменьшения величины ежегодных дорожно-эксплуатационных затрат \mathcal{E}_d ;

– эффект от сокращения продолжительности пребывания в пути грузов и пассажиров \mathcal{E}_b ;

– эффект от сокращения потерь народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий \mathcal{E}_n .

Основу формул для определения эффекта от реконструкции дорог составляют данные о скоростях движения. Объективность расчетов таким образом зависит от полноты и обоснованности принятых для расчетов скоростей.

Расчетный метод, который используется в проектной практике и детально будет освоен вами при разработке курсовых проектов, позволяет учесть размеры геометрических элементов дорог, интенсивность и состав движения, погодноклиматические условия, состояния дорожного покрытия и прочие факторы. Расчет скоростей необходимо вести по участкам элементарного протяжения на расчетный год t_p , для которого скорость транспортного потока и соответственно технико-экономические показатели будут иметь средневзвешенную за срок сравнения вариантов T_c величину. Расчетное значение скорости транспортного потока на участке элементарного протяжения определяется из выражения:

$$V_{pi} = v_i \{ 80 - \delta [0,5 N_o \alpha_s \psi_{op} \varphi(t_i) + \beta_s] \} - 0,076 \bar{a} k_a N_o f(t_{pi}),$$

где v_i – показатель, учитывающий влияние природноклиматических факторов и геометрических элементов дорог на скорости движения по каждому из i вариантов решений; δ – коэффициент, характеризующий влияние типа дорожной одежды (ее прочностных характеристик)

на скорости движения; N_0 – интенсивность движения по дороге в исходном году, авт/сут; α_s и β_s – коэффициенты, характеризующие влияние эксплуатационного состояния дорожной одежды на скорости движения; $\psi_{бр}$ – показатель, характеризующий воздействие подвижного состава на эксплуатационное состояние дорожной одежды; α – коэффициент, учитывающий влияние состава транспортного потока на скорость движения; k_a – коэффициент, учитывающий влияние геометрических элементов дорог и средств организации движения на величину изменения скорости; $\varphi(t_1)$ – функция, учитывающая влияние межремонтных сроков между средними ремонтами на изменение скоростей потоков автомобилей; $f(t_{pi})$ – функция, учитывающая величину и характер ежегодного прироста интенсивности движения на скорость транспортного потока.

Получив характеристику расчетных скоростей движения по участкам, следует определить аналогичный показатель на полное протяжение варианта:

$$\bar{V}_i = \frac{V_{p0}L_1 + V_{pm}L_m + \sum_1^{k=m-1} V_{pk}(L_k - L_{k+1})}{2(L_1 + L_2 + \dots + L_m)},$$

где $V_{p0}, V_{p1}, \dots, V_{pm}$ – расчетные скорости транспортного потока соответственно на 1, 2, ..., m -м участке трассы, км/ч; L_1, L_2, \dots, L_m – соответственно длина каждого из участков, км.

Расчет скоростей транспортных потоков при технико-экономических обоснованиях по указанной методике обеспечивает наиболее полную характеристику как вариантов трассы значительной длины, так и участков элементарного протяжения с позицией учета режимов движения за весь срок службы дороги. В то же время появляется возможность расширить при проектировании реконструкции диапазон рассматриваемых конструктивных мероприятий и повысить уровень обоснованности принимаемых решений.

9.5 Учет обеспеченности безопасности движения при оценке экономической эффективности реконструкции дорог

Рост интенсивности движения по дорогам и связанное с ним увеличение количества дорожно-транспортных происшествий заставляют при реконструкции дорог предусматривать практические мероприятия, направленные на снижение количества и тяжести происшествий. Принимаемые проектные решения должны быть экономически целесообразными, т.е. обоснованы с технико-экономических позиций.

Технико-экономические обоснования, направленные на удовлетворение требований безопасности движения, делятся на три группы:

- 1) технико-экономические расчеты при детальном обосновании нового проложения вариантов трассы дороги;
- 2) расчет эффективности повышения безопасности движения при изменении отдельных элементов;
- 3) расчеты эффективности использования средств и методов организации движения.

При этом первая группа должна базироваться на установлении взаимосвязей между коэффициентом аварийности и вероятным количеством дорожно-транспортных происшествий.

Вторая группа должна обосновывать эффективность проектируемых мероприятий, а третья – обосновывать методы организации движения.

При решении задач 1-го типа, когда возникает необходимость оценки рассматриваемых вариантов решений по обеспеченности безопасности движения, технико-экономические расчеты могут базироваться на установленной взаимосвязи между величиной коэффициента аварийности и вероятным количеством дорожно-транспортных происшествий с последующим переходом к технико-экономическим показателям рассматриваемых вариантов.

Количество дорожно-транспортных происшествий $a_{t_p,i}$ по варианту в расчетах на 1 млн. авт-км может быть определено из следующих выражений:

$$a_{t_p,i} = \frac{1}{L_i} \sum_{k=1}^k a_{t_p,k} L_k 10^{-2};$$

$$a_{t_p,i} = 0,009K_k^2 - 0,27K_k + 34,5,$$

где K_k – итоговый коэффициент аварийности на каждом из k участков с различными дорожными условиями, вычисленный на интенсивность движения расчетного года t_p ; L_k – протяжение каждого из k участков с различными дорожными условиями (устанавливается при построении линейного графика коэффициентов аварийности по каждому из i рассматриваемых вариантов), км; L_i – протяжение i -го варианта, км.

Для оценки потерь от происшествий по каждому из i вариантов C_{ii} за срок сравнения T_c применяют следующую формулу:

$$C_{ii} = 3,65 \cdot 10^{-6} N_{t_p} T_c^{t_p} [C_{ср.исх} + 72(t_p - 1)] \sum_{k=1}^k a_{t_p,k} L_k m_{тк},$$

где N_{t_p} – среднегодовая суточная интенсивность движения расчетного года t_p , авт/сут; $m_{тк}$ – итоговый коэффициент, учитывающий изменение тяжести дорожно-транспортных происшествий на каждом из k участков; $C_{ср.исх}$ – средние потери народного хозяйства от одного дорожно-транспортного происшествия, вычисленные на год сопоставления затрат.

Решение задач 2-го типа, направленное на обоснование эффективности отдельных мероприятий на конкретных участках дороги с выбором оптимальных проектных решений, требует применения удельных показателей.

Расчеты эффективности повышения безопасности движения на основе использования средств и методов организации движения (задачи 3-го типа) наиболее целесообразно выполнять с привлечением статистики дорожно-транспортных происшествий. Данные статистики происшествий, проанализированные по видам и причинам возникновения, позволяют учесть, насколько снизится их количество или тяжесть в конкретных условиях после проведения тех или иных организационных мероприятий, устраняющих первопричины происшествий.

Для наиболее эффективной организации работ по реконструкции дорог необходимо установление такой очередности работ, которая обеспечивает получение максимального эффекта от вложенных капиталовложений.

Большое практическое значение имеет и критерий выявления очередности работ по реконструкции. Очевидно, что решение задачи выявления очередности должно базироваться на

экономических критериях, при разработке которых наиболее полно были бы учтены технические особенности и эксплуатационно-транспортные показатели отдельных участков автомобильных дорог.

Общий вид экономического критерия очередности реконструкции χ следующий:

$$\chi_i = T_{ci} \left[\frac{d}{dt}(C_{ait}) + \frac{d}{dt}(C_{nit}) + \frac{d}{dt}(C_{ait}) + \frac{d}{dt}(C_{sit}) \right],$$

где N_{ci} – технический срок службы i -го участка дороги, определяемый с учетом его технического совершенства из условия достижения предельного уровня насыщения дороги автомобилями (пропускная способность), лет. Значения $\frac{d}{dt}(C_{ait})$; $\frac{d}{dt}(C_{nit})$; $\frac{d}{dt}(C_{ait})$; $\frac{d}{dt}(C_{sit})$ представляют первые производные изменения удельных составляющих текущих затрат (себестоимости) во времени, соответственно для автотранспортной составляющей, потерь, от происшествий, затрат времени пассажиров в пути следования, потерь от изъятия под дорогу продуктивных земель по каждому из i участков дороги. В качестве показателей в данной методике можно учитывать и другие, если они изменяются во времени в течение рассматриваемого срока службы.

Рекомендуемая литература

- 1 Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. Изд. 3-е. М., «Транспорт», 1970.
- 2 Бабков В.Ф. Реконструкция автомобильных дорог. М., «Высшая школа», 1973.
- 3 Бабков В.Ф., Андреев О.В., Замахаев М.С. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1970.
- 4 Васильев А.П., Балавинов В.И., Корсуницкий Ю.Б. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника. М., «Транспорт», 1989.
- 5 Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных дорожных условиях. М., «Транспорт», 1976.
- 6 Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Под ред. Н.А. Пузакова, И.А. Золотаря, В.М. Сиденко. М., «Транспорт», 1971.
- 7 Грицык В.И., Цвелодуб Б.И. Механизированное укрепление земляного полотна травосеянием. М., «Транспорт», 1968.
- 8 Дорожные условия и организация движения. М., «Транспорт», 1974. Авт.: В.Ф. Бабков, О.А. Дивочкин, В.П. Залуга и др.
- 9 Дорожные условия и режимы движения автомобилей. М., «Транспорт», 1967. Авт.: В.Ф. Бабков, М.Б. Афанасьев, А.П. Васильев и др.
- 10 Конструирование и расчёт нежёстких дорожных одежд. Под ред. Н.Н. Иванова. М., «Транспорт», 1973.
- 11 Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов. М., 1974.
- 12 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1975.
- 13 Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоёв на пучиноопасных участках автомобильных дорог, 1977.
- 14 Методические указания по оценке местной устойчивости откосов и выбору способов их укрепления в различных природных условиях. М., 1970.
- 15 Методические указания по оценке прочности и расчёту усилия нежёстких дорожных одежд. М., Гипродорнии, 1974.
- 16 Могилевич В.М. Основы организации дорожно-строительных работ. Изд. 2-е. М., «Высшая школа», 1975.
- 17 Пособие П2-99 к СНБ 3.03.02-97. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог. Минск, 1984.
- 18 Рекомендации по технологии устройства конструктивных слоёв дорожной одежды из песчано-гравийных смесей и песчаных грунтов, укрепленных комплексным вяжущим. Минск, 1984.
- 19 Рекомендации по краткосрочному восстановлению автомобильных дорог и мостов. Минск, 1988.
- 20 РСН 26-86. Контроль качества уплотнения земляных сооружений ускоренными методами. Минск, 1986.

- 21 РД 218.18-83. Порядок проведения технического учёта и паспортизации автомобильных дорог общего пользования. Минск, 1984.
- 22 РД 218.25-87. ОС УКСП. Руководство по геодезическим работам в дорожно-мостовом строительстве. Минск, 1988.
- 23 РД 218.24-86. ОС УКСП. Руководство по операционному контролю качества дорожно-мостового строительства. Минск, 1987.
- 24 РД 0219.1.08-98. Состав и порядок оформления производственно-технической документации при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений. Дорстройтехника, Минск, 1999.
- 25 СТБ 21.302-99 и СТБ 21.303-99. Система проектной документации для строительства. Минск, 2000.
- 26 СНиП 2.05.02-85 и СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. М., 1986.
- 27 СНиП III-10-75. Благоустройство территории. М., 1977.
- 28 СН 227-82. Инструкция по типовому проектированию. М., 1983.
- 29 СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства. Минск, 1996.
- 30 Сиденко В.М., Батраков О.Т., Леушин А.И. Технология строительства дорог. Ч. I, II, III. Киев, «Вища школа», 1970.
- 31 Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М., «Транспорт», 1977.
- 32 Ситников Ю.М., Дивочкин О.А. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дорог. М., «Транспорт», 1973.
- 33 Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М., «Мир», 1966.
- 34 Шведовский П.В. Методическое пособие для курсового и дипломного проектирования по курсу «Реконструкция автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений». Брест, 2000.

ЧАСТЬ II

РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1 Общие проблемы и анализ методов реконструкции мостов и других искусственных сооружений

1.1 Общие проблемы реконструкции мостов в Республике Беларусь

В нашей стране накоплен большой опыт по реконструкции эксплуатируемых искусственных сооружений в самых различных условиях. С начала массовой реконструкции мостов прошло более 50 лет. Это было связано с тем, что за время последней войны в Беларуси было разрушено около 73 % мостов. На месте их построены деревянные, которые проработали 10-15 лет (к 1951 году эксплуатировалось 171 км мостов, из них только 3,5 км капитальные). В начале 50-х дорожники приступили к замене их на капитальные. В настоящее время большинство этих мостов нуждаются в срочной реконструкции

При этом опыт изучения мостовых сооружений показывает, что темпы их морального износа значительно опережают их физический износ. Достаточно сказать, что строительство мостов в пятидесятые годы велось по нормам 1931 года, которые по габаритам в 1,8, а по нагрузкам в 3,2 раза ниже тех, что приняты в начале 80-х годов, которые действуют сегодня. А с учетом сегодняшних нагрузок – разница в 6 раз.

В результате из 4 740 мостовых сооружений (вместе с городскими и железнодорожными - 5200), общая длина которых составляет приблизительно 254 км, не соответствуют требованиям нормативов по грузоподъемности или габаритам 2133 сооружения (45%). А по обоим параметрам одновременно – 466 сооружений, или около 10% от всего мостового парка. Картина будет не полная, если не сказать о мостах на республиканских автомобильных дорогах, по которым перевозится сегодня до 80% всех грузов. Из 2200 сооружений (около 159 км) не соответствуют нормативам по одному из параметров 1164, а по обоим – 330.

Одна из главных причин такого плачевного состояния дел – многократно возросшие транспортные нагрузки, к восприятию которых мосты, построенные по старым нормам, оказались совершенно не готовы. Причем это касается не только объектов послевоенной постройки, но и более современных, построенных 10-15 лет назад. Наглядный пример – объекты Минской кольцевой дороги, реконструкция которой была начата 20 лет назад. Последнее мостовое сооружение на ней было построено 10 лет назад. Но и оно уже успело морально устареть, поскольку было рассчитано на двухполосное движение.

Естественно, если бы при проектировании было предусмотрено увеличение нагрузок (сделан мост пошире, фундаменты с запасом), то сегодня бы проблем не возникало. Впрочем, даже наличие таких примеров, а они – на каждом шагу, чаще всего все это не принимается во внимание при проектировании и строительстве новых объектов. Сегодня белорусские мостовики пользуются сравнительно новым российским СНиПом, но и он уже морально устарел в сравнении с западноевропейскими нормами.

В настоящее время ведется проектирование пограничного моста в районе Козловичи (терминал на входе в Брест). По межправительственному договору между польской и белорусской стороной при проектировании нужно учесть наиболее жесткие нормативные требования. Но выясняется, что по польским меркам (а они соответствуют западноевропейским) эти жесткие нормы, например по нагрузкам, в 2,1 раза выше наших.

Говоря о недостатках в проектировании, которые приводят к быстрому моральному износу мостов, не следует забывать также о качестве и технологии строительства. Как считают специалисты, самым слабым местом у наших мостов является бетон, во всяком случае, в том виде, в котором он попадает на стройплощадки и закладывается в несущие конструкции. Он плохо переносит циклы заморозки и разморозки, число которых за одну только белорусскую зиму может достигать 80, неустойчив к воздействию солей, образующихся под воздействием углекислого газа, выделяемого автотранспортом; имеет низкую трещиностойкость, не достаточно твердую поверхность и т. д. Плюс к тому прибавляется масса технических мелочей, связанных с низким качеством строительных работ и нарушением требований при транспортировке материалов и конструкций.

Как считают специалисты, для повышения качества самого бетона необходимо, во-первых, перейти на монолитный способ строительства, а во-вторых, использовать исключительно клинкерные цементы с микрокремнеземистыми наполнителями. Впрочем, у этих предложений есть и свои в какой-то степени оппоненты, которые считают, что к этим предложениям нужно подходить очень осторожно и взвешенно, поскольку бетон сам по себе очень непредсказуем и любое хоть малейшее изменение состава может привести к серьезным качественным изменениям во время эксплуатации.

И наконец, третий блок проблем, способствующих ухудшению состояния мостового парка, – это его эксплуатация, неудовлетворительный уход, а то и вовсе отсутствие регулярных служб по обеспечению этого ухода, низкий уровень диагностических и профилактических работ и т. д.

Короче говоря, если к решению перечисленных проблем не приступить уже сегодня, то через 7-10 лет в Беларуси не останется ни одного надежного моста. Чем это грозит, думается, объяснять долго не надо.

Надо сказать, что сегодня утверждена отраслевая программа "Мосты XXI века" и ведется разработка элементов системы управления состоянием мостовых сооружений "Бел-мост". Но реализация этих проектов весьма сомнительна. Ибо, по сути дела, мосты – это еще одна дыра, образовавшаяся в нашем сплошь изъеденном молью народном хозяйстве. Чтобы ее залатать, придется урезать статьи расходов, предназначенных на другие дыры: здравоохранение, сельское хозяйство, жилищно-коммунальное хозяйство, спорт и т. д.

Хотя, вероятно, и не так все сложно на самом деле. Может, следует, например, включив мосты в число приоритетных направлений в экономике, создать специальный мостовой фонд (по типу жилищного) – ввести для юридических лиц еще один налог от реализации. Ну, а на худой конец просто поставить перед фактом ту же Россию и ряд других, заинтересованных в наших дорогах, государств: мол, не поможете с финансами, через несколько годков будете искать пятый угол.

Кстати одновременно с мостами к увеличению транспортных нагрузок оказались не готовы и наши дороги. Как результат – повышенная колеиность, ускоренное разрушение дорожных покрытий и т. д. Так, по подсчетам специалистов, только за прошедший год на магистральных дорогах, открытых для передвижения международного транспорта и тяжелых грузов, зафиксировано образование колеи свыше 3 см общей длиной 1100 км. Чтобы уstra-

нить только колею, необходимо около 40 млрд. ВУВ, или больше половины республиканского дорожного фонда.

И это не говоря уже о расходах, которые ежегодно необходимы на содержание всех остальных автодорог. Плюс к этому – затраты на реконструкцию и капремонт.

Впрочем, болезнь дорог и мостов характерна не только для Беларуси, но и для всего СНГ. В результате исследований на Межправительственном совете автодорожников СНГ было принято решение о необходимости проведения более глубоких исследований в этом направлении и введении адекватных ограничений на перевозимые грузы. Поскольку наибольший ущерб дорогам и мостам наносится трехосными тележками с односкатными шинами, то по решению совета в нынешнем году их допустимый вес был снижен до 21 т. При этом общая масса автомобиля увеличена с 36 до 38 т. Но эти ограничения для наших мостов и дорог — как мертвому припарка. Болезнь слишком затянулась, и за нее нужно браться серьезно.

Если подвести итоги всей этой печальной статистики, то следует сделать следующие выводы: реконструкция эксплуатируемых сооружений ввиду массовости и сложности этих работ — самостоятельная отрасль строительной индустрии. Проектные и строительные работы должны при этом выполняться специализированными организациями, крупные сооружения должны реконструироваться по индивидуальным проектам, а сооружения, получившие массовое распространение на сети (малые мосты, трубы и др.), – по типовым. Разработке проекта реконструкции сооружения должно предшествовать обстоятельное изучение состояния объекта, анализ его работы за весь период эксплуатации и в перспективе, технико-экономический анализ целесообразных решений.

Существуют две основные причины реконструкции мостов: физическое состояние основных элементов моста и грузоподъемность; изменение условий эксплуатации дороги или водного или другого пути под мостом.

Отсюда реконструкция — это изменение в процессе эксплуатации моста его основных характеристик, основными из которых являются — грузоподъемность, конструкция мостового полотна и габариты.

1.2 Анализ существующих и перспективных методов реконструкции мостов в близком зарубежье

За последние 5 лет в России и других странах СНГ накопился достаточный опыт по реконструкции железобетонных пролетных строений искусственных сооружений. Можно выделить следующие наиболее эффективные технические решения:

- а) наклейка поверхностной арматуры (рисунок 1.1);

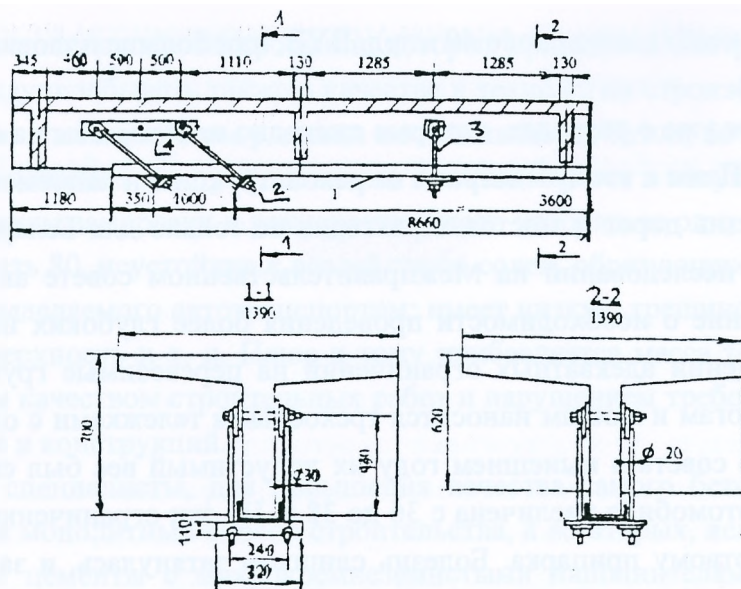
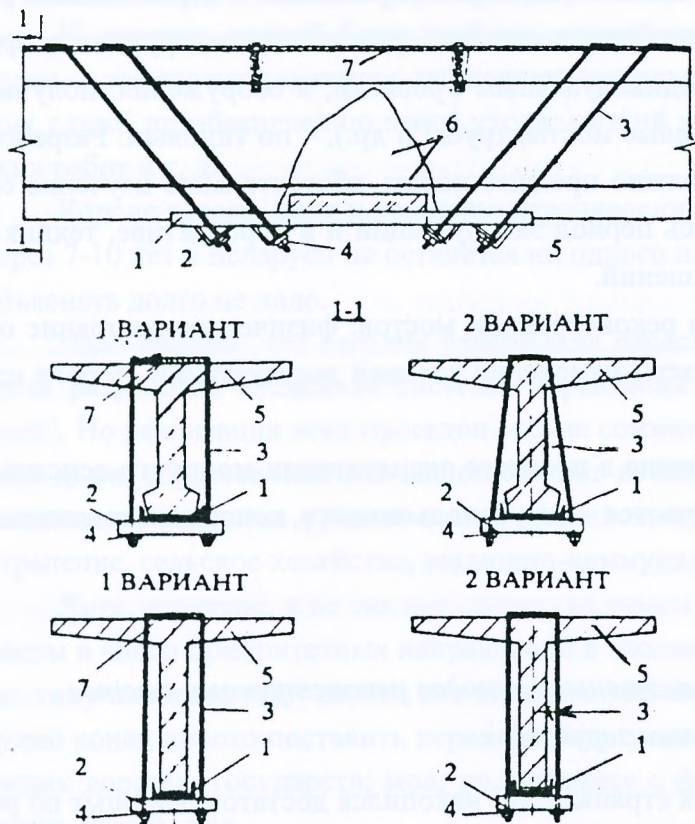


Рисунок 1.1 Наклейка поверхностной арматуры: 1 - швеллер; 2 - упор; 3 - тяж; 4 - горизонтальная пластинка.

б) локальное усиление балок (рисунок 1.2);



А) Преднапряженная балка

Б) Балка с ненапрягаемой арматурой

Рисунок 1.2 Локальное усиление балок: 1 - швеллер; 2 - металлический лист; 3 - тяжи; 4 - гайка; 5 - балка; 6 - зона обрыва арматуры и разрушения бетона; 7 - стальная полоса.

в) усиление стальной монолитной (сборной, сборно-монолитной) плитой (рисунок 1.3);

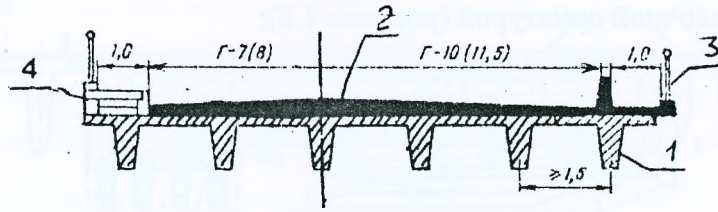


Рисунок 1.3 Усиление монолитной плоской накладной плитой: 1 – пролетное строение; 2 – плита усиления; 3 – монолитный тротуарный блок; 4 – сборно-монолитный тротуарный блок.

г) наклейка в комбинации с усилением накладной плитой и изменением статической схемы сооружения (рисунок 1.4);

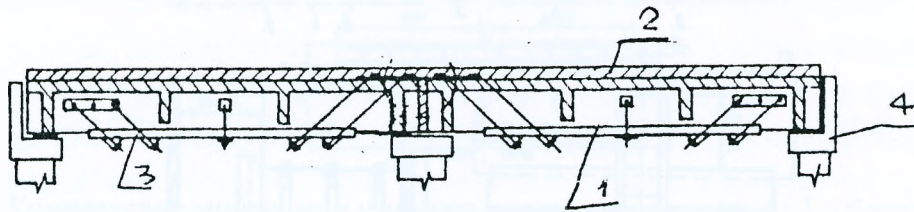


Рисунок 1.4 Усиление с изменением статической схемы: 1 – балка; 2 – плита усиления; 3 – наклейка поверхностной арматуры; 4 – опоры.

д) усиление шпренгельными системами и затяжками (рисунок 1.5);

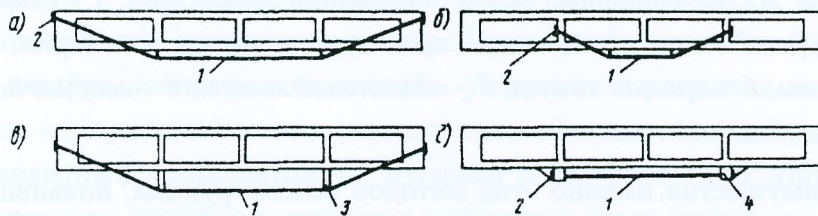


Рисунок 1.5 Усиление балок полигональными шпренгелями (а, б, в) и прямолинейным (г): 1 – шпренгель; 2 – анкер; 3 – распорка; 4 – упор.

е) усиление железобетонной оболочкой (рисунок 1.6);

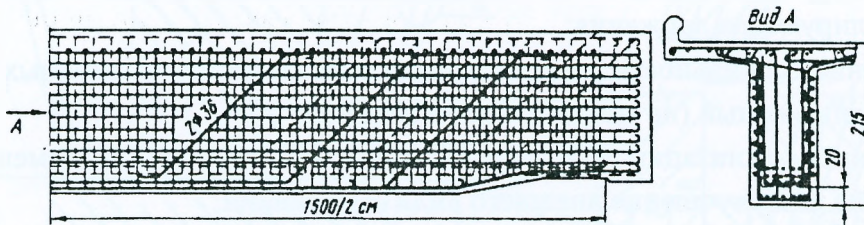


Рисунок 1.6 Усиление пролетного строения железобетонной оболочкой (на фасаде балки показана только арматура усиления).

ж) усиление напряженной арматурой, натягиваемой на упоры по низу ребра балок (рисунок 1.7);

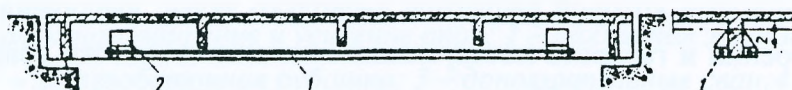


Рисунок 1.7 Усиление напряженной арматурой: 1 – арматура; 2 – упор.

з) усиление добавочной арматурой (рисунок 1.8);

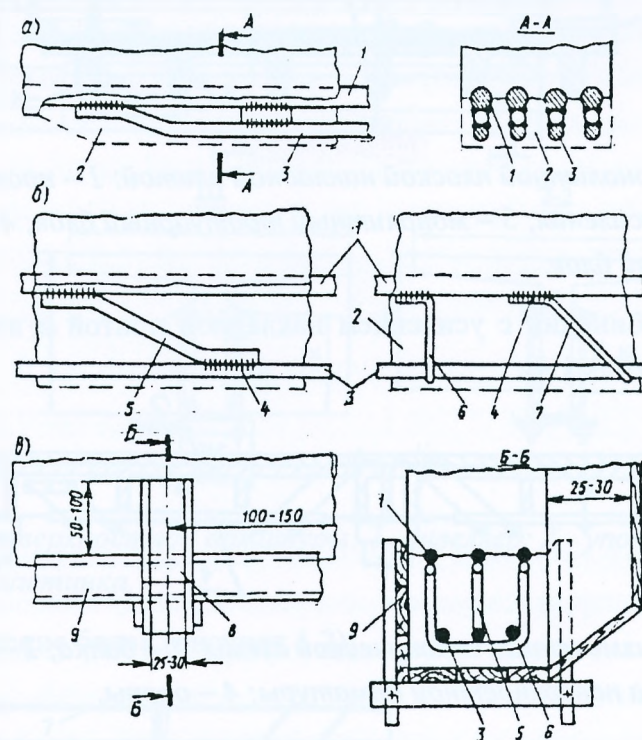


Рисунок 1.8 Усиление железобетонных балок добавочной арматурой: 1 – существующая арматура; 2 – зона усиления; 3 – арматура усиления; 4 – сварки; 5 – наклонный коротыш; 6 – прямой хомут; 7 – наклонный хомут; 8 – загрузочные воронки; 9 – опалубка.

В чем же преимущество именно этих методов реконструкции, появившихся в последние годы? Необходимо помнить, что ко всем способам усиления пролетных строений мостов предъявляются следующие требования:

- простота и доступность в конструктивном и технологическом отношениях;
- отсутствие помех движению транспортных средств по мосту, или, по крайней мере, сохранение регулируемого движения;
- обеспечение стабильности жесткостных и других эксплуатационных характеристик конструкции на длительный (не менее 10-15 лет) период;
- обеспечение механизации работ и унификации конструктивных элементов усиления;
- сохранение или улучшение внешнего вида сооружений;
- сохранение или снижение ежегодных эксплуатационных расходов.

Именно этим требованиям и отвечают вышеописанные методы.

Естественно, что одного усиления или уширения пролетов для улучшения технического состояния мостового перехода недостаточно. Наибольший эффект от реконструкции достигается при комплексном повышении эксплуатационных характеристик мостов, т.е. от реконструкции, в результате которой решаются несколько задач: увеличение грузоподъемности пролетных строений и габарита моста, повышение долговечности конструкций моста и безопасности движения (рисунок 1.9):

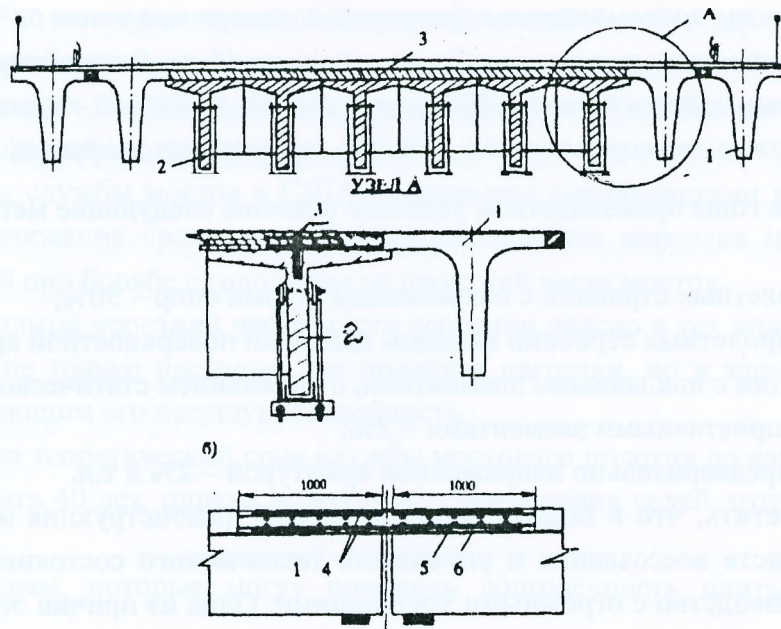


Рисунок 1.9 Комплексное уширение и усиление пролетных строений: 1 – балка приставная; 2 – наклейка поверхностной арматуры; 3 – плита усиления; 4,5,6 – арматура.

Общий экономический эффект от выполнения только работ по усилению мостов методом наклейки поверхностной арматуры достигает 3,5 тыс. американских долларов на 1 погонный метр.

Методы комплексной реконструкции апробированы более чем на 500 мостах.

А сейчас давайте посмотрим на способы уширения и усиления мостовых опор. Чаще всего применяют комплексный метод, осуществляемый следующим способом: забивка свай; устройство монолитных железобетонных рубашек ростверков опор; уширение ригелей при помощи металлических диафрагм; установка наклонных стоек (рисунок 1.10).

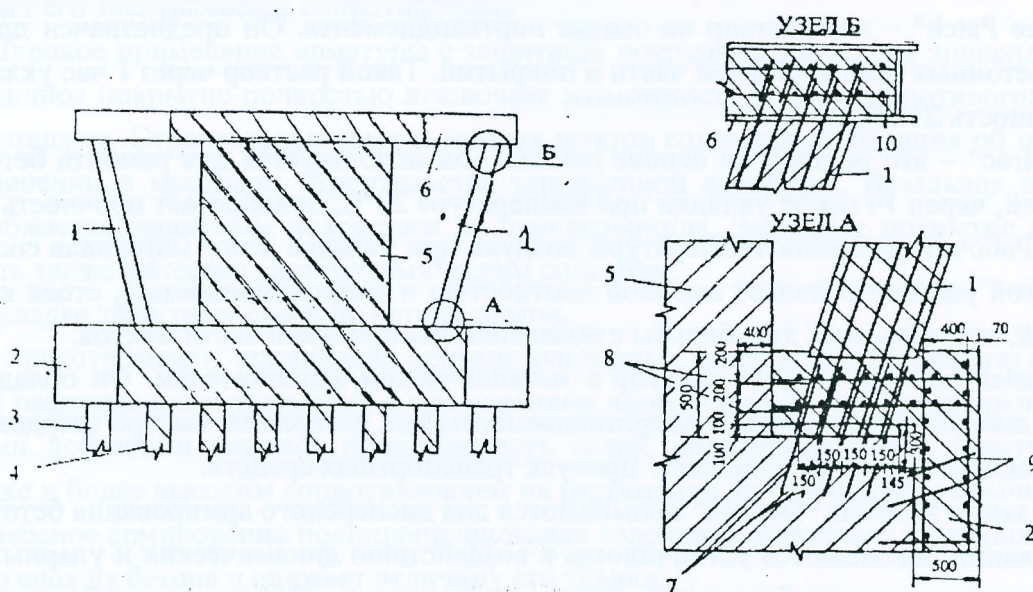


Рисунок 1.10 Комплексное уширение и усиление опор: 1 – наклонная железобетонная стойка; 2 – железобетонная рубашка; 3 – дополнительные сваи; 4 – сваи существующей опоры; 5 – тело существующей опоры; 6 – двутавр; 7 – арматурные

стержни, заделываются в бетонный ростверк под углом 68°; 8 – арматурные стержни, заделываются в бетон опоры на 40 см; 9 – арматурные стержни, заделываются в бетонный ростверк под углом 20°; 10 – арматурные сетки (стержни привариваются к металлу двутавров и диафрагм).

За последние годы производством успешно освоены следующие методы реконструкции мостов:

- замена пролетных строений с сохранением старых опор – 50%;
- усиление пролетных строений методом наклейки поверхностной арматуры;
- в комбинации с накладными элементами, с изменением статической схемы – 20%;
- уширение приставными элементами – 2%;
- усиление предварительно напряженной арматурой – 2% и т.д.

Следует заметить, что в большинстве стран СНГ реконструкция мостов, как одно из эффективных средств воссоздания и улучшения технического состояния мостового парка, внедряется в производство с огромными трудностями. Одна из причин этого кроется в необходимости срочного перевооружения технического парка, в требовании высокой культуры производства, выполнении жестких требований технологии и качества работ.

1.3 Анализ существующих и перспективных методов реконструкции мостов в дальнем зарубежье

Следует отметить, что принципиальным отличием является отличие в применяемых материалах.

Рассмотрим для примера быстродействующие растворы и бетоны.

"Renderoc" – раствор на основе полимеризованного портландцемента — предназначен для ремонта вертикальных и потолочных поверхностей. За один проход можно нанести слой толщиной до 15 см. Материал обладает малой усадкой.

"Pike Patch" – это раствор на основе портландцемента. Он предназначен для ремонта железобетонных плит проезжей части и покрытий. Такой раствор через 1 час укладки набирает прочность 21 МПа.

"Gelroc" – это раствор на основе цемента, он используется для ремонта бетонных поверхностей, через 1ч после укладки при температуре 22°С, приобретает прочность на сжатие 11 МПа. Рабочий диапазон температуры воздуха при укладке этого материала составляет 4-32°С. Такой раствор обладает высокой плотностью и непроницаемостью, стоек к воздействию солей, применяемых для борьбы с обледенением проезжей части мостов.

"Master-Patch-70" — это раствор с металлическим заполнителем. Он обладает малой усадкой, высокой прочностью и сопротивляемостью на истирание, быстро твердеет, через 6-9 часов после его укладки возможен пропуск транспортных средств.

Стальные волокна "Dramix" применяются для дисперсного армирования бетона. При их использовании повышаются устойчивость к воздействию динамических и ударных нагрузок и усталостная прочность бетона, снижается его хрупкость. Волокна с загибом на конце поставляют в связках по 30 штук в каждой. Волокна в связке соединены между собой клеем, который распадается при перемешивании бетонной смеси, при этом достигается высокая однородность их распределения по объему бетона.

"Set-45" — это экзотермический, быстротвердеющий бетон с высокой прилипающей способностью. Такая бетонная смесь предназначена для ремонта железобетонной плиты проезжей части и бетонных покрытий. Она при нулевой температуре без дополнительного прогрева приобретает прочность на сжатие до 36 МПа.

Средний срок службы мостов в США оценивается специалистами в 60 лет. Одной из главных причин снижения сроков службы мостов является коррозия металла, вызванная применением солей при борьбе с гололедом на проезжей части мостов.

Разрушение плиты проезжей части моста особенно опасно в тех конструкциях, в которых она является не только настилом для пропуска нагрузки, но и элементом пролетного строения, определяющим его несущую способность.

Считается, что теоретический срок службы мостового полотна до капитального ремонта должен составлять 40 лет, однако в результате применения солей этот срок сокращается до 5-10 лет.

К мероприятиям, которые могут повысить долговечность плиты, можно отнести следующие:

1) Повышение качества бетона. В некоторых случаях это может полностью обеспечить сохранение плиты. Широкое применение в сталежелезобетонных конструкциях сборных плит заводского изготовления частично решает указанную задачу, однако при этом слабым местом остаются стыки плит и узлы объединения плиты с пролетным строением, которые и ведут к снижению несущей способности сталежелезобетонной конструкции в целом. Увеличение прочности, плотности, морозостойкости бетона, а также строгое соблюдение толщины защитного слоя позволяет увеличить срок службы плиты. Плотность бетона повышают посредством применения воздухововлекающих добавок и суперпластификаторов. Для подавления коррозии в бетон добавляют нитрат кальция. Применение белой сажи в сочетании с суперпластификатором повышает прочность бетона, снижает его проницаемость для солей и увеличивает его электрическое сопротивление.

2) Широкое применение арматуры с защитным покрытием на основе эпоксидной смолы. Эпоксидное покрытие полностью исключает возможность контакта противогололедных солей с металлом. Строительные нормы многих штатов содержат требования об обязательном применении в мостовом строительстве защищенной арматуры. Вязальная проволока также снабжается защитным покрытием из перхлорвинила. Защитное покрытие арматуры может быть также нанесено электрохимическим способом.

3) Укладка защитных слоев по бетону плиты.

Они предотвращают проникание противогололедных солей в незащищенную арматуру. Защитные растворы приготавливают с применением латекса и полимерных добавок. Бетон с латексными добавками снижает проницаемость солей, обладает большей пластичностью при укладке и более высоким сопротивлением на растяжение по сравнению с обычным бетоном. Дисперсное армирование полипропиленовыми волокнами повышает трещиностойкость защитного слоя из бетона и снижает величину его усадки.

4) Покрытие плиты герметизирующими водонепроницаемыми пленками. Пропитка бетона эпоксидными составами.

5) Применение арматуры из нержавеющей марки стали.

6) Катодная защита арматуры. Она является единственным способом остановки уже начавшего процесса коррозии, если он не перешел через определенный критический предел. Система катодной защиты может эксплуатироваться, по мнению специалистов, в течение 40 лет, однако для этого требуются ежегодные расходы на эксплуатацию в связи с необходимостью постоянной подачи электроэнергии.

7) Применение для борьбы с обледенением химикатов, не вызывающих коррозию металла, например кальциевого ацетата магния, однако его стоимость намного выше стоимости хлористого натрия. Очень часто для защиты бетонных конструкций проезжей части мостов от влаги и хлоридов используется силан, не блокирующий поры бетона. Он вступает в химическую реакцию, и по стенкам пор образуется гидрофобный слой, не пропускающий воду сверху и способствующий ее испарению. Силан смешивают со спиртовым носителем, обеспечивающим проникание материала на соответствующую глубину (от 0,35 до 1,26 см) и наносят за один прием распыления.

Во многих штатах применяется также состав Flexogrid (на основе эпоксидной смолы и уретана) для создания на покрытиях мостов тонкого эластичного поверхностного слоя толщиной 0,6-1,3 см, за счет чего предупреждается проникание ионов хлорида и продлевается срок службы

В связи с ростом цен на материалы и топливо в США возникла необходимость поиска менее дорогостоящих материалов и дешевых технологий, к которым относятся:

— вспененный битум, получаемый путем введения в поток горячего битума определенного количества холодной воды. Преимуществом таких смесей является их низкая себестоимость за счет использования дешевого каменного материала и возможности хранения смесей в штабелях. распределение смесей осуществляют грейдером или асфальтоукладчиком. движение может быть открыто сразу же после уплотнения слоя асфальтобетонной смеси на основе вспененного битума;

— "стеклянный асфальт" – асфальтобетонная смесь с добавкой битого стекла. В целях обеспечения сцепления стекла с битумом вводится добавка $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которая снижает повреждения таких покрытий, возникающие при воздействии воды;

— отходы производства полипропилена для армирования асфальтобетонной и цементобетонной смеси. Введение отрезков полипропиленового волокна в количестве 2.4 кг на 1 т холодной асфальтобетонной смеси ее связность и адгезию к ремонтируемой поверхности. Формирование материала происходит под колесами транспортных средств. Добавление 840 г волокна на 1 м³ бетона препятствует возникновению микротрещин, повышает прочность покрытия и позволяет увеличить расстояние между швами сжатия;

— отработанный буровой раствор — в качестве противогололедного реагента в различных погодных условиях на дорогах с покрытиями разных типов, распределяемый под давлением или методом свободного истечения с использованием передвижной установки;

— измельченный уголь, для замены нефтяного топлива. На многих асфальтобетонных заводах установлены сушильные барабаны с горелками, работающие на измельченном угле;

— изношенные автомобильные шины — для устройства подпорных стенок. В этих целях одна из боковых поверхностей шин срезается, шины укладываются послойно, каждый уложенный ряд засыпается грунтом и уплотняется. Для повышения прочности подпорной

стенки шины скрепляют между собой и анкерной шиной полиэфирными волокнами, заключенными в оболочку из полиэтилена. Старые автомобильные шины, заполненные песком, укладывают на основание из проволочной сетки, скрепляют между собой и используют в качестве ограждений на автомобильных дорогах.

В качестве амортизирующих элементов в ограждениях также используются пустые или заполненные водой бочки или банки из-под нефтепродуктов.

2 Основные технические решения по уширению мостов

2.1 Общие принципы реконструкции

Как мы уже знаем, к реконструкции мостов, труб и других транспортных сооружений прибегают в тех случаях, когда их грузоподъемность или пропускная способность перестает удовлетворять движению транспорта.

В целом следует различать следующие виды реконструкции:

1) Улучшение безопасности движения.

Так как безопасность движения обеспечивается устройством различных ограждений и предохранительных полос, то такая реконструкция связана с реконструкцией тротуаров или уширением проезжей части.

2) Улучшение конструкции проезжей части.

Предусматривает усиление или полную замену элементов проезжей части более современными и долговременными конструкциями.

Необходимость в усилении возникает в результате снижения прочности конструкций или увеличения нагрузок, действующих на сооружения. В первом случае принято говорить о физическом износе, во втором — о моральном износе сооружения. Прочность мостов со временем снижается из-за естественного износа строительных материалов. Наиболее быстро теряют прочность деревянные мосты, прежде всего от загнивания древесины. Прочность стальных мостов уменьшается в результате ржавления, усталости и старения стали.

Усиление может быть полным или частичным. Частичным усилением называют усиление отдельных элементов конструкции, например, некоторых раскосов, стыков и других элементов, грузоподъемность которых оказывается недостаточной. Если требуется усилить большое число элементов, то усиление каждого из них в отдельности может оказаться дорогим и трудоемким и в этих условиях выгоднее общее усиление, при котором изменяется расчетная схема сооружения: разрезные системы превращают в неразрезные, добавляют шпренгели, гибкие арки и т. д.

3) Уширение мостов.

Предусматривает как увеличение пешеходных габаритов, так и проезжей части.

4) Изменение уровня проезда по мостам.

Характерно при реконструкции дорог (смягчение продольных уклонов) и увеличении подмостовых габаритов (электрификация железных дорог и повышение отметок судоходных горизонтов).

5) Добавление новых отверстий (при уширении пересекаемой дороги или пересечении набережных в разных уровнях).

6) Переустройство труб (при повышении отметок и уширении проезжей части дорог или недостаточной площади водопропускных отверстий).

В современной мостовой практике понятие "реконструкция" тесно связано с термином «моральный износ». Следует отметить, что в последние годы моральный износ мостовых сооружений идет особо быстрыми темпами, значительно опережающими их физический износ. Это связано, во-первых, с высокими темпами роста грузооборота и интенсивности движения на автомобильных дорогах, а также с недоучетом при проектировании перспективы развития

данной дорожной сети (например, в течение срока службы сооружения автомобильная дорога может несколько раз подвергаться реконструкции, переходя в более высокие категории).

Исходя из вышеизложенного, можно выделить два основных направления, по которым в настоящее время проводится реконструкция. Это увеличение грузоподъемности сооружений (усиление) и уширение мостов до современного уровня.

Проанализируем экономическую обоснованность реконструкции и усиления сооружений.

Усиление или реконструкция считается экономически целесообразной если

$$E' = \frac{\mathcal{E}_p^{\text{сущ}} - \mathcal{E}_p^{\text{пр}}}{K^{\text{пр}} - K^{\text{сущ}}} \geq E = 0,1 \quad \text{или} \quad T = \frac{1}{E'} < \frac{1}{E} = 10.$$

Здесь E' — коэффициент экономической целесообразности; E — нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,1; T — срок окупаемости, лет; $K^{\text{пр}}$ и $K^{\text{сущ}}$ — капитальные затраты, необходимые для выполнения запланированных на расчетный год объемов перевозок соответственно в проектируемых и существующих условиях, приведенные к началу эксплуатации реконструированного (усиленного) моста; $\mathcal{E}_p^{\text{пр}}$ и $\mathcal{E}_p^{\text{сущ}}$ — эксплуатационные расходы на расчетный год, обеспечивающие выполнение запланированного объема перевозок соответственно в проектируемых и существующих условиях.

Расчетный год устанавливают, в зависимости от ожидаемого грузооборота, а при отсутствии данных (по грузообороту) его принимают равным десятому.

Давайте рассмотрим особенности экономического обоснования наиболее типичных случаев реконструкции.

2 вид реконструкции:

Реконструкция имеет целью снижение эксплуатационных расходов на содержание моста без увеличения его пропускной способности. Примером может служить перестройка деревянного моста на капитальный, замена деревянной проезжей части на железобетонную и пр. В капитальные затраты $K_{\text{пр}}$ входит строительная стоимость реконструкции, а в капитальные затраты $K_{\text{сущ}}$ — затраты на периодический ремонт моста в существующих условиях, приведенные к первому году эксплуатации моста после реконструкции, т. е.

$$K^{\text{сущ}} = \frac{K_1^{\text{сущ}}}{(1+E)^\Delta} + \frac{K_1^{\text{сущ}}}{(1+E)^{\Delta+1}} + \dots + \frac{K_1^{\text{сущ}}}{(1+E)^{T_p-\Delta}},$$

где $K^{\text{сущ}}$ — стоимость периодического ремонта; Δ — межремонтный срок, лет; T_p — расчетный год.

Эксплуатационные расходы на расчетный год вычисляют по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}^{\text{сущ}} = \mathcal{E}_1 (1+p)^{T_p-1}$$

где \mathcal{E}_1 — ежегодная стоимость содержания моста в существующих (или проектных) условиях; p — ежегодное увеличение эксплуатационных затрат, %.

3 вид реконструкции:

Реконструкция имеет целью увеличение пропускной способности или грузоподъемности моста. В этом случае капитальные затраты, кроме строительной стоимости, войдут затраты на обеспечение проектного грузооборота в существующих и проектных условиях. Эти затраты вычисляют по состоянию, соответствующему первому году расчетного периода T_p .

Эксплуатационные же расходы слагаются из ежегодной стоимости эксплуатации моста и ежегодных транспортных расходов в существующих и проектных условиях. Эксплуатационные расходы определяют на расчетный год.

Выбор варианта усиления реконструкции (усиления) осуществляют по приведенным затратам, вычисляемым по формуле

$$P_{\text{прив}} = K^{(i)} + \sum \frac{\mathcal{E}_t^{(i)}}{(1+E)^t} \approx \min,$$

где $K^{(i)}$ – капитальные (единовременные) затраты по i -му варианту, приведенные к началу эксплуатации; $\mathcal{E}_t^{(i)}$ – ежегодные эксплуатационные расходы по i -му варианту, приведенные к началу эксплуатации.

2.2 Состав исходных данных для разработки проекта реконструкции

Исходными данными для разработки проекта реконструкции являются:

- а) результаты обследования, а при необходимости испытания моста с оценкой технического состояния и грузоподъемности сооружения;
- б) материалы инженерно-геологических и гидрологических изысканий;
- в) топографические данные.

При наличии документации на мост (проект, исполнительная документация, геологические данные, результаты обследований и испытания, сведения о ремонтах) разработка проекта может осуществляться без дополнительных изысканий. При этом давность материалов обследования не должна превышать двух, а испытания — пяти лет.

При оценке состояния сооружения обязательным является установление несущей способности элементов и грузоподъемности сооружений с учетом повреждений (трещин, коррозии арматуры или металла, или других ослаблений сечения, деформаций связей и т. д.).

Результаты обследования фиксируются в книге искусственного сооружения.

Для оценки несущей способности элементов должны быть известны:

- геометрические размеры;
- армирование элементов;
- характеристики материалов (металл, бетон, арматура, грунты).

Эти данные принимаются по имеющейся технической документации и, при необходимости, уточняются специальными обследованиями и изысканиями, проводимыми перед разработкой проекта.

Отметим основные особенности обследований и изысканий:

- 1) обследования для оценки технического состояния проводят только для надземных элементов;
- 2) скрытые элементы обследуют только в случае видимых признаков разрушения;
- 3) грузоподъемность пролетных строений определяют путем перерасчетов или специальными испытаниями, позволяющими фиксировать усилия, деформации и раскрытие трещин в расчетных сечениях;
- 4) расчетные характеристики материалов (металл, бетон, арматурная сталь) определяют испытаниями или принимают по данной проектной документации, вводя соответствующие коэффициенты надежности;

5) особое внимание необходимо уделять степени коррозии металла. Внешний признак коррозии арматуры – наличие трещин во внешнем слое бетона вдоль арматуры;

6) при невозможности замера фактического диаметра поврежденной арматуры, его определяют по толщине коррозии, принимая, что 5 мм коррозии соответствует повреждению металла на глубину 1 мм;

7) несущую способность основания опор определяют пересчетом, с учетом увеличения несущей способности по грунту за период эксплуатации моста (вводится соответствующий коэффициент консолидации). Если же состояние опор вызывает опасение или в исполнительной документации имеются сведения о нарушении технологии, то несущую способность определяют методом динамического зондирования.

Результаты обследования и испытаний (если их проводили) предоставляются в виде отчета, содержащего следующую информацию:

- 1) схемы фактического расположения и размеры элементов сооружения;
- 2) ведомость дефектов с соответствующими схемами и фотографиями;
- 3) сведения о размывах и деформациях русла;
- 4) прочностные и деформативные характеристики материалов;
- 5) данные по грузоподъемности всего сооружения на момент обследования;
- 6) предложения по использованию существующего сооружения в целом или отдельных его частей.

2.3 Принципиальные схемы уширения железобетонных пролетных строений

В практике применяются следующие принципиальные схемы уширения:

Группа А-1 — увеличение ширины тротуаров с добетонированием консоли или применением сборных тротуарных плит обеспечивающих увеличение пешеходного габарита (рисунок 2.1).

Возможные схемы уширения:

а) установка сборных тротуарных блоков;

б) установка сборных тротуарных блоков с добетонированием консоли и ребра жесткости;

в) установка сборных тротуарных блоков с добетонированием;

г) то же, но с подпоркой.

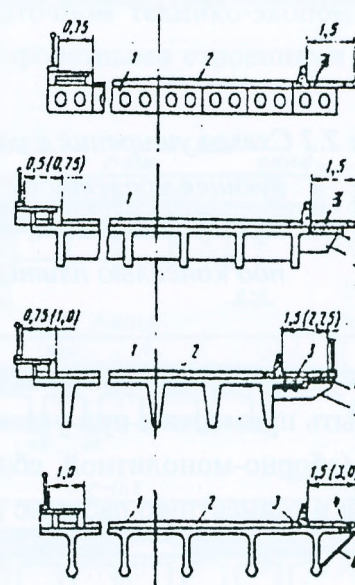


Рисунок 2.1 Схемы увеличения ширины тротуаров. 1 – существующее пролетное строение; 2 – слой одежды ездового полотна; 3 – новый тротуарный блок; 4 – бетониро-

важный участок консоли плиты; 5 – ребро жесткости под консолью плиты;
 б – подпорка под консоль плит.

Как видно, все схемы предусматривают замену существующих тротуарных блоков. Применяемые типовые конструкции тротуарных блоков (1,0 м или 1,5 м взамен 0,5; 0,75 или 1,0 м) закрепляют на крайних балках пролетного строения или поддерживают специальными конструкциями (кронштейнами, подкосами, ребрами жесткости).

При неудовлетворительном состоянии консолей крайних плит замена тротуарных блоков должна сопровождаться удалением существующих консолей и добетонированием новых (с устройством кронштейнов, подкосов, ребер жесткости). Схемы с подкосами применяют в конструкциях с плитой, армированной в двух уровнях.

Группа А-II — смещение тротуарных блоков или их удаление, смещение тротуарных блоков с добетонированием консолей плит (рисунок 2.2).

Возможные схемы уширения:

а – смещением тротуарного блока;

б – то же с бетонированием консолюю;

в – то же с установкой сборного ребра жесткости под консоль;

г, д – удалением тротуарного блока:

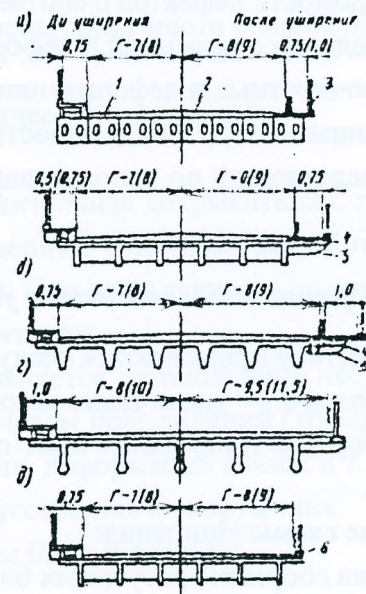


Рисунок 2.2 Схемы уширения с удалением или смещением тротуарных блоков: 1 – существующее пролетное строение; 2 – слой одежды ездового полотна; 3 – новый тротуарный блок; 4 – бетонированный участок консоли; 5 – ребро жесткости под консолью плиты; 6 – блок ограждения.

Схемы уширения предусматривающие смещение тротуарных блоков или их удаление, могут быть применены при увеличении габарита на 0,5-1,5 и группа Б-1 — устройство монолитной (сборно-монолитной, сборной) накладной плиты с увеличенными консолями, включенными в совместную работу с главными балками (рисунок 2.3).

Возможные схемы уширения пролетных строений:

- а) преднапряженными плитами;
- б) преднапряженными балками с диафрагмой;
- в) бездиафрагменными балками;
- г) унифицированными балками.

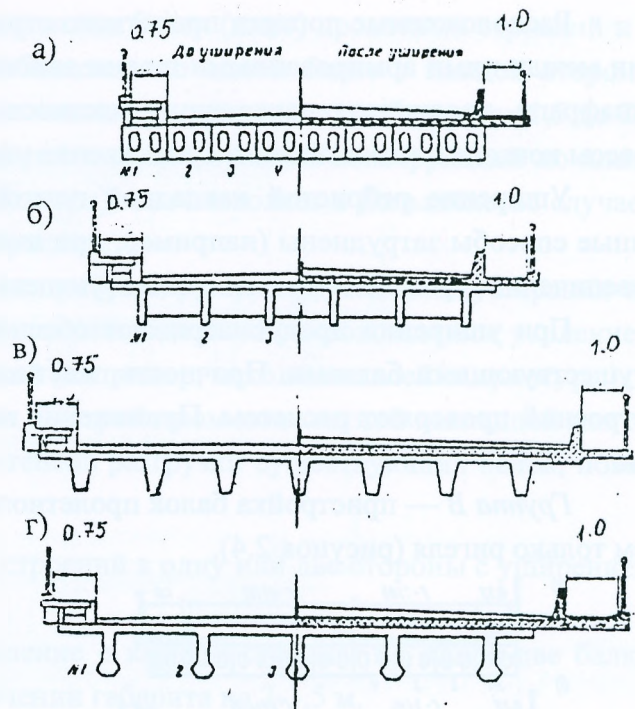


Рисунок 2.3 Схемы уширения с помощью монолитной накладной плиты.

Уширение за счет монолитной накладной плиты не требующее добавления балок, применяют, как правило, при увеличении габарита на 1,0—3,0 м в пролетных строениях до 18 м, а в отдельных случаях и более. При этом предусматривают удаление всех элементов мостового полотна (тротуаров, слоев одежды и др.) и обеспечение совместной работы плиты и эксплуатируемых пролетных строений.

Схемы уширения с помощью ребристой накладной плиты (в сборном или сборно-монолитном вариантах), а также не требующие уширения опор, применяют при увеличении габарита в основном на 2-2,5 м (а в отдельных, при достаточном технико-экономическом обосновании – и более), в мостах с пролетами до 18 м и с пролетными строениями как разрезных так и неразрезных систем (рисунок 2.3).

Возможные схемы уширения:

- а) сборной плитой;
- б) сборно-монолитной плитой;
- в) то же.

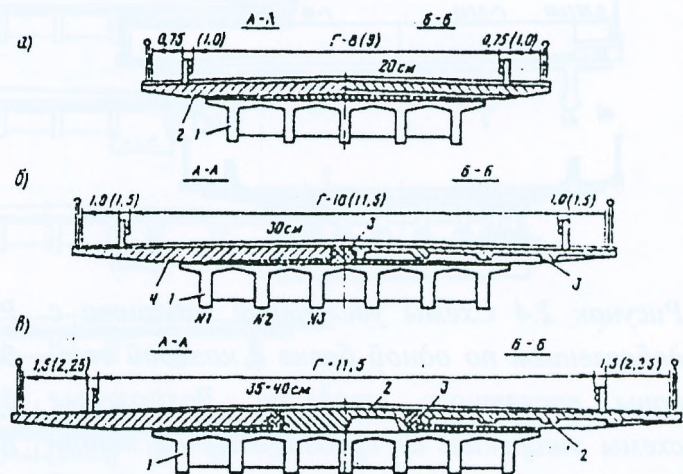


Рисунок 2.3 Схемы уширения ребристой накладной плитой: 1 – существующее пролетное строение; 2 – сборная ребристая накладная плита; 3 – монолитный шпуночный шов (сечения А-А — по поперечному стыку, Б-Б – по накладной плите).

Расположенные поперек пролетного строения вертикальные ребра плит с заключенными между ними армированными швами замоноличивания выполняют роль дополнительных диафрагм, увеличивая поперечную жесткость пролетного строения, а также подкрепляют свесы консолей, что позволяет существенно увеличить их вылет.

Уширение ребристой накладной плитой наиболее целесообразно в условиях, когда иные способы затруднены (например, при высоких опорах) и когда требуется существенное увеличение грузоподъемности существующего пролетного строения.

При уширении предусматривают обеспечение совместной работы накладной плиты с существующими балками. Прочность, жесткость, трещиностойкость уширенных пролетных строений проверяют расчетом. Применение плоской плиты в сборном варианте недопустимо.

Группа В — пристройка балок пролетного строения в одну или две стороны с уширением только ригеля (рисунок 2.4).

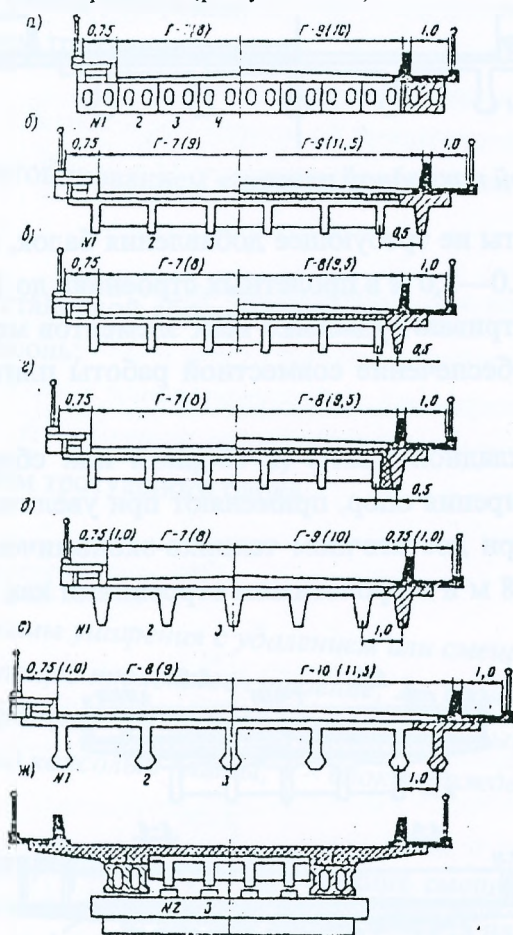


Рисунок 2.4 Схемы увеличения габарита с добавлением по одной балке с каждой стороны пролетного строения. Возможные схемы уширения: а) предварительно напряженной плитой; б), в) преднапряженной балкой без омоноличивания; г) то же, но с омоноличиванием; д), е), ж) преднапряженной балкой с расширенным пространством.

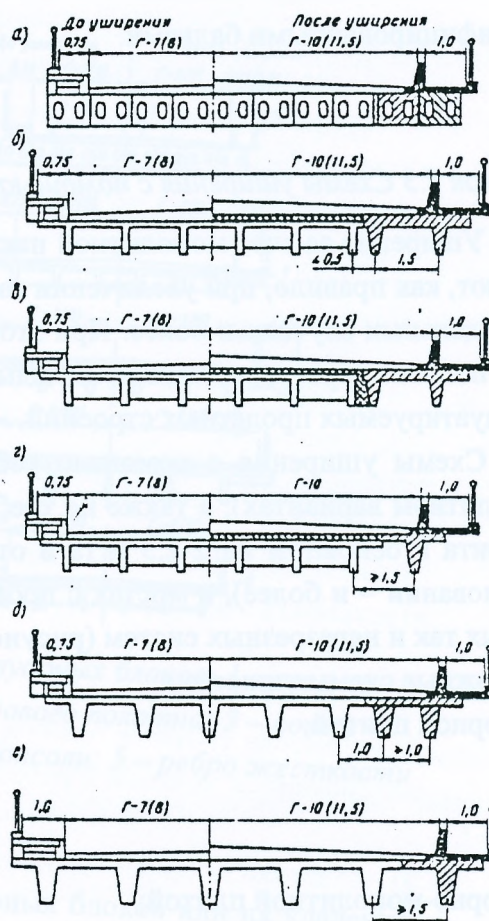


Рисунок 2.5 Схемы увеличения габарита добавлением балок пролетных строений, требующих уширения тела опоры. Возможные схемы уширения: а) двумя предварительно напряженными плитами; б) с двумя балками без омоноличивания; в) то же, но с омоноличиванием; г), д), е) балками с расширенным пространством.

Уширение мостов с симметричным добавлением балок (плит) пролетных строений и с развитием только ригеля предусматривает добавление по одной балке с каждой стороны (симметричное уширение) и может быть использовано при увеличении габарита от 1,5 до 2,5 м. При этом приставляемые элементы объединяют с существующей конструкцией по плите проезжей части или по плите и стенке балки (плиты), что позволяет в большинстве случаев облегчить работу старых балок в пролетном строении.

Если по фактическому состоянию балки требуют разгрузки, а схемы уширения не обеспечивают ее применение указанных схем уширения должно сопровождаться усилением существующих балок (плит) пролетных строений (например, методом наклейки арматуры).

Комбинация приведенных схем уширения с устройством монолитной накладной плиты позволит увеличить не только габарит, но и степень разгрузки существующих балок, повысить их несущую способность дополнительно.

Группа Г — пристройка балок пролетных строений в одну или две стороны с уширением ригеля и тела опоры (рисунок 2.5).

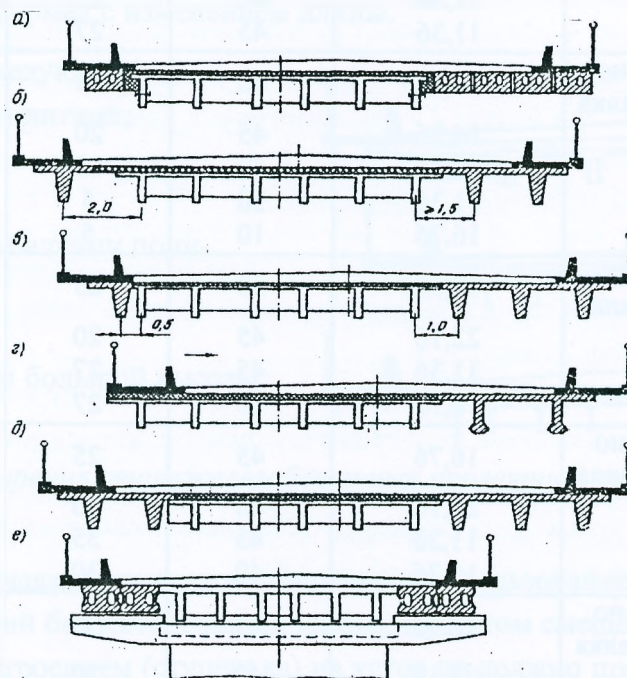
Такое уширение предусматривает добавление с каждой стороны по одной-две балки (плиты) и может быть использовано при увеличении габарита на 2-3,5 м.

Группа Д — пристройка балок пролетных строений в одну или две стороны с уширением всей опоры, в том числе и фундаментной части.

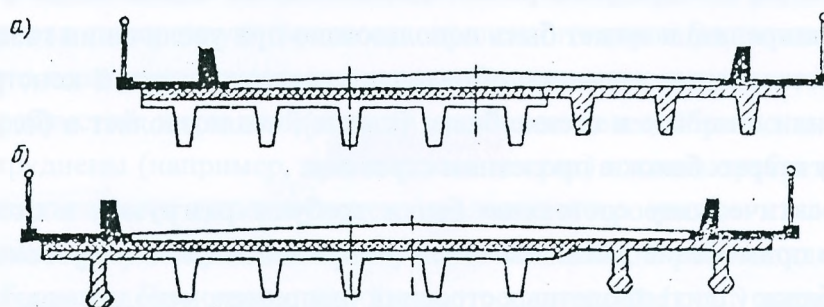
Для этой группы уширения пролетных строений могут основываться на предыдущих схемах, но с большим числом добавляемых балок. Одностороннее уширение используют, как правило, в случаях, требующих незначительного, или не требующих повышения грузоподъемности моста. Одностороннее уширение наиболее эффективно в комбинации с другими методами усиления и уширения поскольку оно в этом случае наряду с упрощением технологии приводит и к увеличению грузоподъемности.

Группа Е — комбинированные методы уширения (рисунок 2.6):

1) для сборных диафрагменных пролетных строений:



2) для сборных бездиафрагменных пролетных строений;



3) для монолитных диафрагменных пролетных строений.

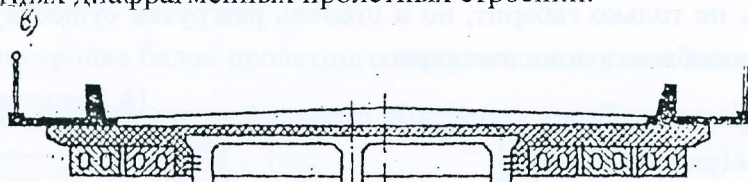


Рисунок 2.6 Комбинированные методы уширения

Комбинированные методы уширения, как видно из схем, представляют собой совокупность ранее рассмотренных методов.

Таблица 2.1

Схема (рис. 2.6а)	Тип приставляемых балок	Длина пролетно- го строения, м.	Степень повышения класса элементов по грузо- подъемности, % для балок			
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1	Предварительно напряженная плита ТП 384/25 ТП 710/5 ТП 710/5	11,36	50	30	27	37
		16,76	45	27	25	35
		11,36	40	22	20	30
		11,36	45	27	25	25
2	Предварительно напряженная балка ТП 384/26 ТП 710/5	16,76	40	25	20	30
		16,76	45	20	20	30
		22,16	40	15	15	25
		11,36	10	5	10	15
		16,76	10	5	10	15
3	Предварительно напряженная балка ТП 384/26 ТП 710/5	16,76	50	25	25	35
		22,16	45	20	20	30
		11,36	45	27	25	20
		16,76	40	27	20	20
4	Предварительно напряженная балка ТП 384/26 ТП 710/5	16,76	45	25	20	20
		22,16	40	20	20	15
		11,36	45	35	35	50
		16,76	40	30	35	50
5	Предварительно напряженная балка ТП 384/26	16,76	45	35	40	55
		22,16	40	30	35	50

Наиболее эффективны схемы комбинированных методов уширения пролетных строений, позволяющие одновременно существенно увеличить грузоподъемность применительно к мостам с начальным габаритом Г-7+2х0,75 м. Степень увеличения класса элементов (балок, плит) по грузоподъемности, а также наиболее рациональные интервалы длин пролетных строений, где эти схемы могут быть применены следующие – таблица 2.1.

Эти данные характерны только для сборных диафрагменных пролетных строений.

При выборе схем уширения пролетных строений учитывают тот факт, что при значительных уширениях (более 2 м в одну сторону) появляется опасность занижения высоты подмостового габарита. Для подобных сооружений следует рассматривать лишь такие схемы уширения, в которых при поперечном уклоне 2% отметка низа добавляемых конструкций соответствует требованиям п.1.2, 3 СНиП 2.05.03-84

2.4 Принципиальные схемы уширения сталежелезобетонных пролетных строений с прокатными балками

Для пролетных строений с прокатными балками применяют комбинированные методы уширения, позволяющие значительно повысить грузоподъемность пролетных строений (рисунок 2.6а).

При необходимости предусматривают усиление или устройство дополнительных поперечных связей, либо усиление балок, что определяется расчетом. Для уширения используют железобетонные плитные и ребристо-плитные элементы, а также двутавровые балки большей высоты (прокатные или сварные широкополочные).

При уширении путем добавления элементов пролетных строений следует использовать элементы конструкций, выпускаемые предприятиями мостостроительной индустрии, и товарный стальной прокат. При необходимости уширения пролетных строений, длина которых отлична от унифицированных размеров, выпускаемых заводами и полигонами железобетонных балок и плит, следует предусматривать изготовление элементов уширения в существующих опалубках и формах с изменением длины.

Основные схемы следующие:

а) преднапряженными плитами;

б) преднапряженными балками пониженной высоты;

в) прокатными балками большой высоты.

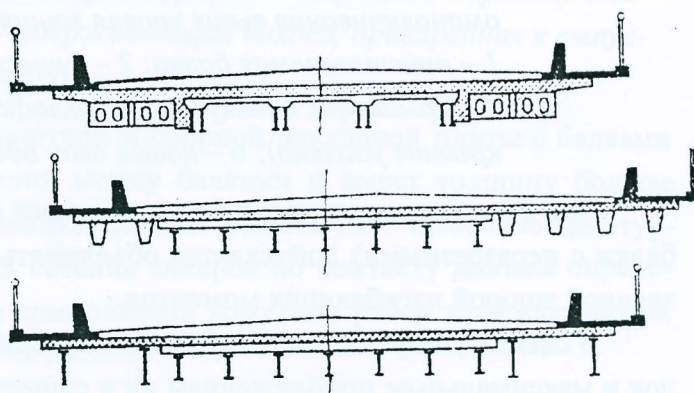


Рисунок 2.6 Схемы уширения сталежелезобетонных пролетных строений с прокатными балками.

В отдельных случаях допускается уширение с использованием современных конструкций пролетных строений без изменения их длины. При этом смещение в плане между новым и старым пролетным строением (ступенька) на устой не должно превышать 1 м, а длина мос-

та — 50 м. В мостах большей длины ступенька в уровне плиты проезжей части не допускается (из условия работы деформационных швов).

2.5 Особенности объединения накладных плит и приставных балок и плит

Для схем уширения приставляемыми балками без устройства накладной плиты при удовлетворительном состоянии гидроизоляции в средней части существующего пролетного строения слои, кроме покрытия, удаляют вдоль тротуаров, оголяя продольный стык омоноличивания (накладки), а асфальтобетонное покрытие удаляют на всей площади моста. Причем арматуру плиты приставляемых балок стыкуют с оголенными накладками. В отдельных случаях, при наличии обоснования расчетом, бетон омоноличивания доводят до уровня существующего защитного слоя, поверх которого укладывают новый изоляционный слой (без удаления существующего слоя), а жесткость крайней оставшейся балки подсчитывают с учетом монолитного бетона над ней (рисунок 2.7).

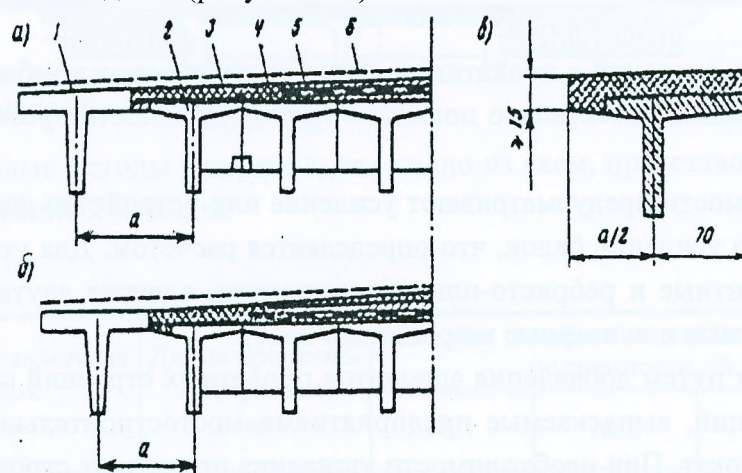


Рисунок 2.7 Схема стыковки балок без удаления одежды на существующей части пролетного строения (с устройством дополнительного изоляционного слоя): а – бетон омоноличивания в одном уровне с оставшимися слоями одежды; б – бетон омоноличивания выше уровня защитного слоя; в – расчетное сечение балки: 1 – приставляемая балка; 2 – существующая балка; 3 – бетон омоноличивания; 4 – арматура, стыкуемая с накладкой; 5 – существующие слои одежды (покрытие удалено); 6 – новые слои одежды.

При стыковке конструкций с различными статическими схемами (например, разрезные балки с неразрезными) допускается объединять их не по всей длине, а на участках с однозначной эпюрой изгибающих моментов.

В схемах уширения железобетонных ребристых пролетных строений с добавлением балок и максимальным приближением их к существующим конструкциям, объединение конструкций между собой в поперечном направлении должно осуществляться с обязательной стыковкой поперечной арматуры в двух уровнях. Объединять конструкции можно и по низу с помощью накладок, болтов и захватов (рисунок 2.8).

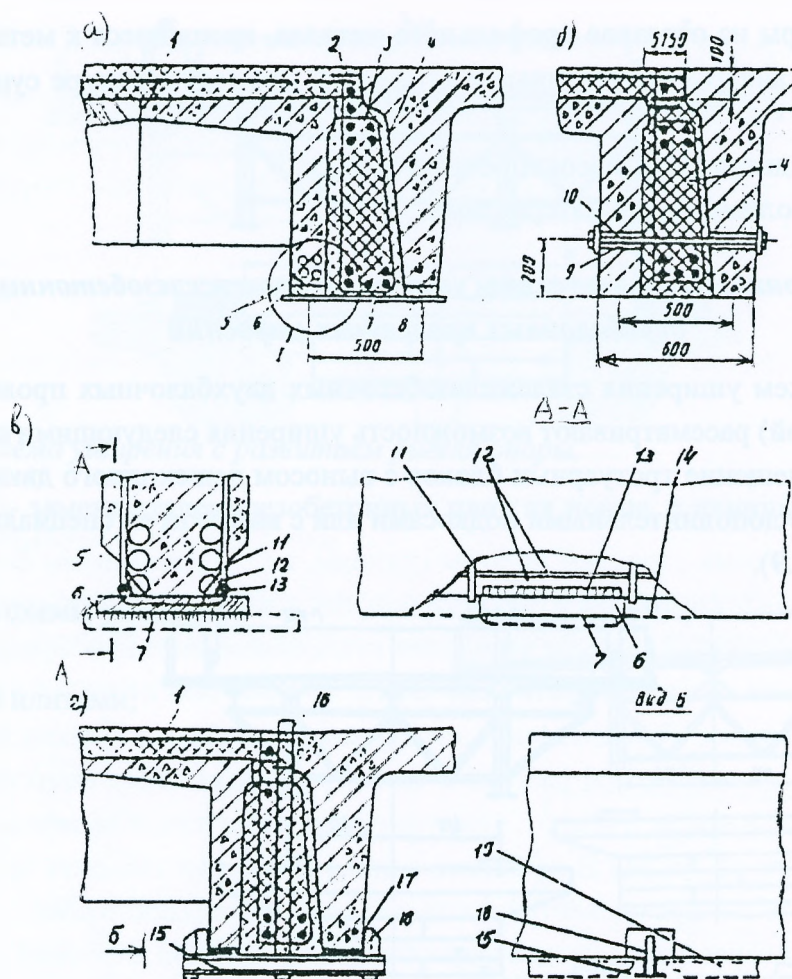


Рисунок 2.8 Схема стыковки балок с помощью накладок (а, в), болтов (б), захватов (г):

1 – монолитный бетон; 2 – выпуски арматуры; 3 – хомут каркаса; 4 – монолитный бетон вставки; 5 – выкол бетона; 6 – приваренная пластинка; 7 – стыковая накладка; 8 – закладная деталь; 9 – просверленное отверстие; 10 – болт; 11 – оголенный хомут; 12 – основная арматура; 13 – сварка; 14 – граница опалубки; 15 – поперечная балка; 15 – удерживающая полоса, приваренная к выступам; 17 – клей; 18 – упор; 19 – опалубка.

Объединение монолитной, сборно-монолитной и сборной накладной плиты с балками (если плита участвует в распределении усилий между балками и имеет толщину больше толщины существовавшего сточного треугольника) следует выполнять с помощью арматурных или болтовых анкеров. Причем площадь сечения анкеров по контакту должна определяться расчетом, но быть не менее процента армирования хомутами ребер железобетонных балок.

Для объединения плит используют:

– шпоночные соединения с гибкой и жесткой арматурой, устраиваемые заполнением бетоном окон в плите существующих балок при устройстве монолитной плиты или совмещенных окон в блоках сборной накладной плиты и плиты существующих балок;

- жесткие упоры из отрезков профильного металла, крепящиеся к металлическим пластинам, или гибкие анкеры приваренные к оголенной верхней арматуре существующих балок;
- болтовые соединения на высокопрочных болтах;
- склеивание полимерными материалами.

2.6 Принципиальные схемы уширения сталежелезобетонных двухбалочных пролетных строений

При выборе схем уширения сталежелезобетонных двухбалочных пролетных строений (со сплошной стенкой) рассматривают возможность уширения следующими способами:

Группа А — смещение тротуарных блоков с выносом пешеходного движения на консоли, поддерживаемые дополнительными подкосами или с выносом на специальные пролетные строения (рисунок 2.9).

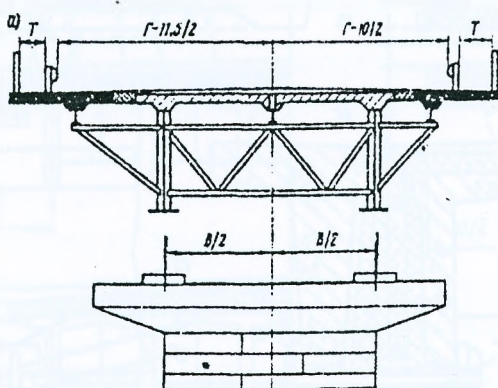


Рисунок 2.9 Схема уширения с выносом пешеходного движения на консоли.

Группа Б — смещение тротуарных блоков с добетонированием плиты и устройством дополнительных прогонов (рисунок 2.10).

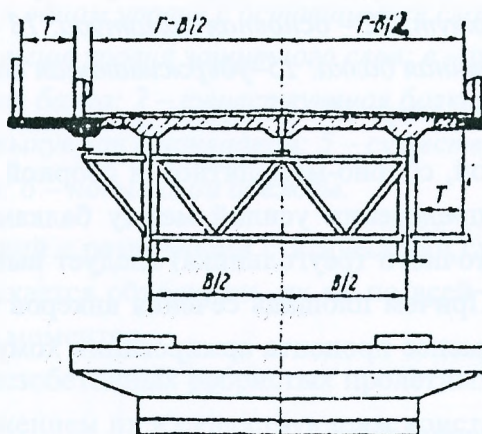


Рисунок 2.10 Схема уширения с добетонированием плиты.

Группа В — добавление одной балки с одной стороны и смещение существующих пролетных строений с развитием ригеля опоры (рисунок 2.11).

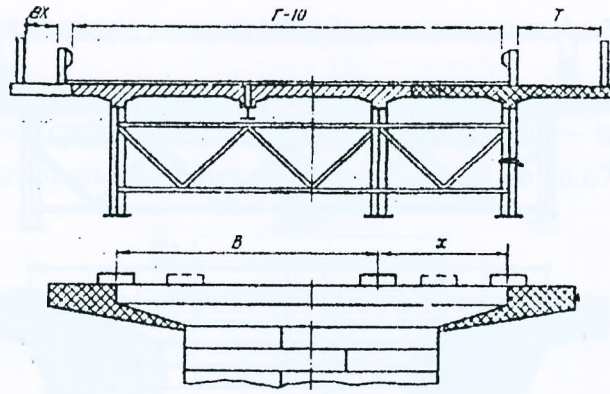
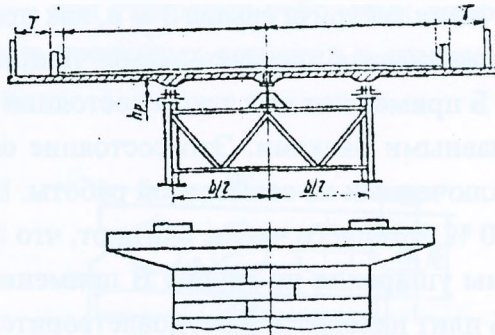


Рисунок 2.11 Схема уширения с развитием ригеля опоры.

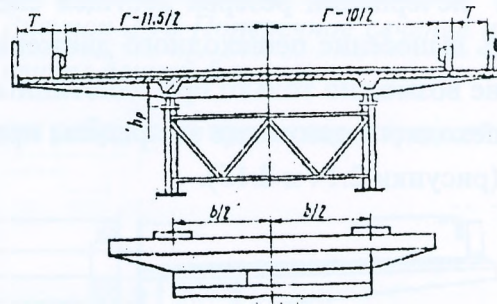
Группа Г – замена сталежелезобетонных плит на новые, с длинными консолями (рисунок 2.12).

Возможные схемы уширения:

а) плоскими плитами;



б) ребристыми плитами;



в) стальными ортотропными плитами.

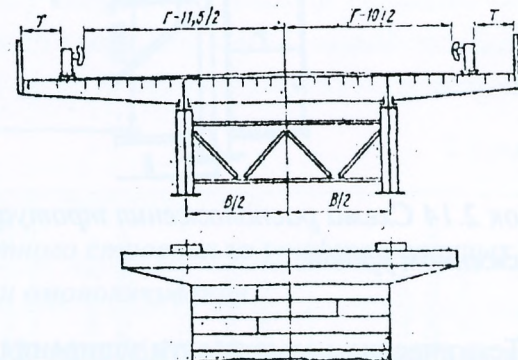


Рисунок 2.12 Схемы уширений методом замены плит.

Группа Д – добавление балок с одной или двух сторон и развитие тела опоры (рисунок 2.13).

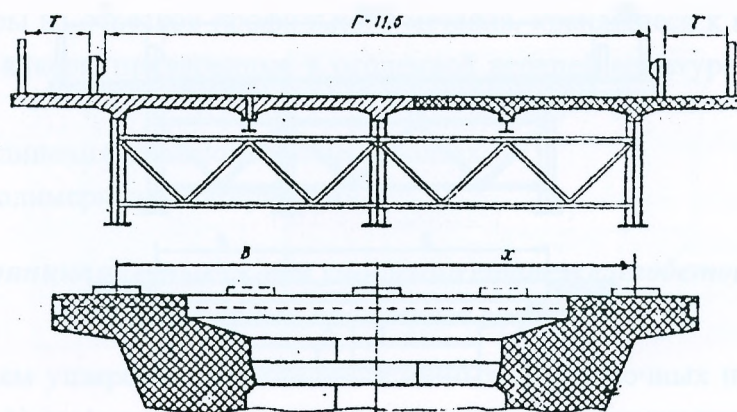


Рисунок 2.13 Схема уширения с развитием тела опоры.

Уширение пролетных строений по этим группам, т.е. с добавлением балок, применяют при увеличении габарита свыше 3 м и, как правило, без какого-либо усиления.

Как показывает практика схемы уширения сталежелезобетонных пролетных строений по группе Б применяют при таком состоянии плиты, которое обеспечивает совместную работу ее с главными балками. Это состояние ограничивается числом блоков плиты проезжей части, исключенных из совместной работы. В том случае, если число таких блоков составляет более 20 % от общего числа, считают, что совместная работа не обеспечена.

Схемы уширения по группе В применяют при увеличении габарита на 2—3,5 м, когда более 20% плит находится в неудовлетворительном (аварийном) состоянии.

При исчерпании резерва несущей способности пролетных строений допускается использовать вынесение пешеходного движения. При этом пешеходное движение в пониженном уровне возможно только при однотипных пролетных строениях по длине моста, а вынесение пешеходного движения за пределы пролетного строения — при ширине тротуаров более 1.5 м (рисунки 2.14 и 2.15).

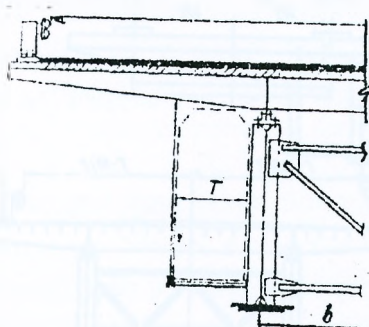


Рисунок 2.14 Схема расположения тротуара в пониженном уровне.

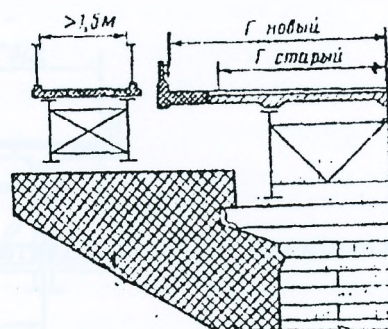


Рисунок 2.15 Схема выноса пешеходного движения на отдельно стоящее пролетное строение.

Технические возможности уширения сталежелезобетонных пролетных строений обеспечиваются резервом несущей способности.

В случае исчерпания резерва несущей способности пролетное строение подлежит усилению.

2.7 Номенклатура конструкций применяемых для уширения

Рассмотрим конструкции для уширения наиболее часто применяемые в практике:

А) балки пролетных строений с каркасной арматурой — при уширении ребристых пролетных строений с диафрагмами и без диафрагм длиной до 16.67 м;

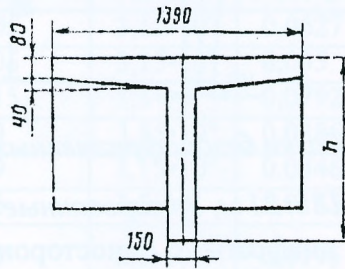


Рисунок 2.16 Поперечное сечение балки.

Б) плиты пустотные преднапряженные — при уширении ребристых диафрагменных каркасных и преднапряженных, а также плитных пролетных строений и сталежелезобетонных пролетных строений с прокатными балками.

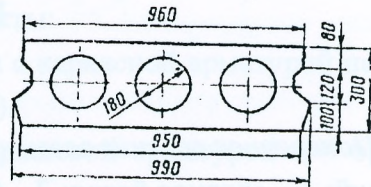
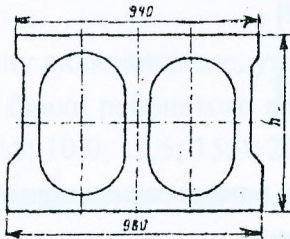


Рисунок 2.17 Поперечное сечение пустотной плиты длиной 12, 15, 18 м.

Рисунок 2.18 Поперечное сечение пустотной плиты длиной 6 м.

В) балки преднапряженные — при уширении ребристых пролетных строений балочных систем с пролетами свыше 15 м;

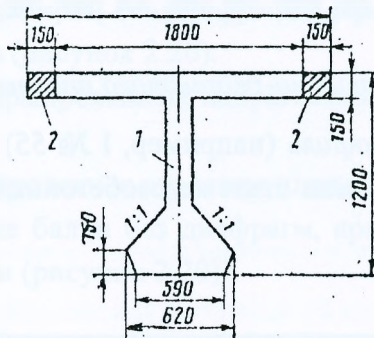


Рисунок 2.19 Поперечное сечение элемента пролетного строения из унифицированных балок 1 – унифицированная балка; 2 – бетон омоноличивания.

Г) цельноперевозимые балки без диафрагм 12, 15 и 16.76, 18 м, армированные каркасной арматурой класса АП — при уширении монолитных ребристых, балочных, балочно-консольных и рамно-консольных мостов, а также ребристых сборных пролетных строений с пролетами до 18 м;

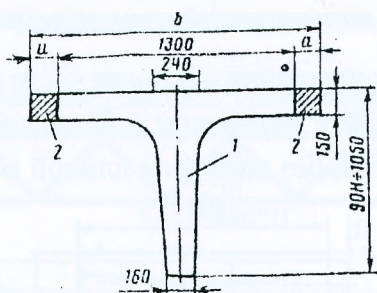


Рисунок 2.20 Поперечное сечение балки бездиафрагменных пролетных строений.

Д) составные балки длиной 18 и 21 м, армированные напряженной пучковой арматурой класса ВП (с диафрагмами и без диафрагм, с односторонним или двухсторонним монолитным участком).

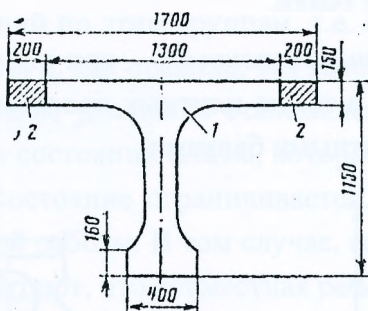


Рисунок 2.21 Поперечное сечение элемента предварительно напряженных пролетных строений: 1 – сборная балка; 2 – бетон омоноличивания.

Е) железобетонные плитно-ребристые пролетные строения с пролетом 5 и 6 м.

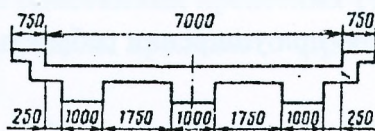


Рисунок 2.22 Поперечное сечение плитно-ребристого пролетного строения

Ж) стальной прокатный профиль (например, I № 55) или двутавровые широкополочные стальные балки — при уширении сталежелезобетонных пролетных строений с прокатными балками.

Таблица 2.2

№ п/п	Элемент пролетного строения	Длина элемента, м	Высота элемента, м	Начальный модуль упругости бетона, кН/м ²	Момент инерции приведенного сечения, м ⁴	Момент инерции при кручении, м ⁴	$N = E_a / E_b$	Коэффициент армирования
1	Балка по ТП (1)	11,36	0,8	$2,1 \cdot 10^4$	0,0215	0,00132	7,1	0,0181
2	Плита по ТП (2)	12,0	0,6	$3,5 \cdot 10^4$	0,0147	0,0448	5,8	0,0062
3	Балка по ТП (1)	16,76	1,0	$2,9 \cdot 10^4$	0,0517	0,00134	7,1	0,022
4	Плита по ТП (1)	18,0	0,75	$3,5 \cdot 10^4$	0,0278	0,0493	5,8	0,0159

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Балка по ТП (1)	22,16	1,25	$2,9 \cdot 10^4$	0,0782	0,00168	7,2	0,0309
6	Балка по ТП (3)	24,0	1,2	$3,5 \cdot 10^4$	0,122	0,00383	5,1	0,007
7	Балка по ТП (4)	12,0	0,6	$3,5 \cdot 10^4$	0,0149	0,0488	5,8	0,0077
8	Балка по ТП (5) -	18,0	1,05	$3,15 \cdot 10^4$	0,0627	0,0042	6,5	0,0204
9	Балка по ТП (5)	18,0	1,05	$3,15 \cdot 10^4$	0,055	0,0034	6,5	0,0254
10	Балка по ТП (6)	18,0	1,15	$3,5 \cdot 10^4$	0,0792	0,0032	5,2	0,005
11	Балка по ТП (5)	12,0	0,9	$3,15 \cdot 10^4$	0,0386	0,0038	6,5	0,0147
12	Балка по ТП (5)	15,0	0,9	$3,15 \cdot 10^4$	0,0346	0,003	6,5	0,023
13	Плита по ТП (4)	15,0	0,6	$3,5 \cdot 10^4$	0,0153	0,0488	5,8	0,0116
14	Монолитная балка по ТП (7)	6,8	0,5	$2,3 \cdot 10^4$	0,0195	0,0142	9,1	0,0075
15	Плита по ТП (4)	6,0	0,3	$3,5 \cdot 10^4$	0,00209	0,00497	5,8	0,0073
16	Балка по ТП (5)	12	0,9	$3,15 \cdot 10^4$	0,0343	0,003	6,5	0,0186
17	Балка по ТП (8)	12	0,9	$3,15 \cdot 10^4$	0,0322	0,00104	6,35	0,0121
18	Балка по ТП (8)	18	1,05	$3,15 \cdot 10^4$	0,0564	0,00444	6,35	0,0224

Проанализируем кратко и основные характеристики балок пролетных строений (таблица 2.2).

В таблицу включены следующие типовые проекты:

ТП(1) – балки ребристого пролетного строения с каркасной арматурой периодического профиля $l = 7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 20,0$ м (рисунок 2.16).

ТП(2) – пустотные плиты, армированные стержневой арматурой $l = 6,0$ м (рисунок 2.18).

ТП(3) – унифицированные предварительно напряженные железобетонные балки (рисунок 2.19).

ТП(4) – пустотные плиты, армированные арматурой класса А-IV и А-V длиной $l = 12,0; 15,0; 18,0$ м (рисунок 2.17).

ТП(5) – цельноперевозимые балки без диафрагмы, армированные каркасной арматурой А-II, длиной $l = 12,0; 15,0; 18,0$ м (рисунок 2.20).

ТП(6) – составные балки, армированные напрягаемой пучковой арматурой В-II длиной $l = 18,0$ и $21,0$ м (рисунок 2.21).

ТП(7) – плитно-ребристое пролетное строение длиной $l = 5,0$ и $6,0$ м (рисунок 2.22).

ТП(8) – цельноперевозимые балки без диафрагм, армированные каркасной арматурой А-III, длиной $l = 12,0; 15,0; 18,0$ м (рисунок 2.20).

2.8 Принципиальные схемы уширения опор

При уширении опор следует в максимальной степени использовать существующие конструкции и все возможности уширения без переустройства фундаментов или уширения свайных промежуточных опор, что упрощает и удешевляет работы по реконструкции моста.

Схемы уширения опор могут быть отнесены к трем группам:

Группа А — уширение ригеля.

При таком уширении наращивается часть ригеля (насадки) должна быть надежно соединена с существующей конструкцией. Причем она может быть выполнена из железобетона, предварительно напряженного железобетона или прокатных стальных элементов.

Возможны следующие схемы уширения:

а) устройство железобетонных оголовков с консолями (рисунок 2.23);

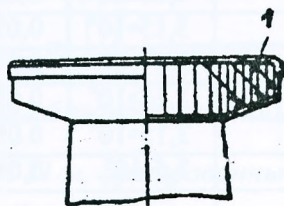


Рисунок 2.23 Уширение устройством оголовков с консолями: 1 – оголовок с консолью.

б) уширение стальными прокатными профилями (рисунок 2.24);

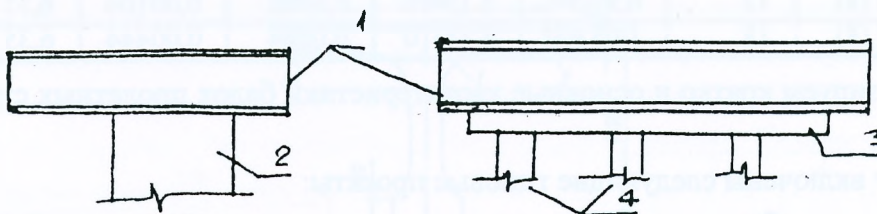


Рисунок 2.24 Уширение прокатными профилями: 1 – прокатный профиль; 2 – столбчатая опора; 3 – ригель; 4 – свайные опоры.

в) уширение консоли над крайними сваями (рисунок 2.25);

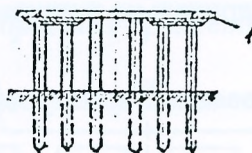


Рисунок 2.25 Уширение консоли над крайними сваями: 1 – консольное уширение.

г) уширение консоли с устройством кронштейна (рисунок 2.26);

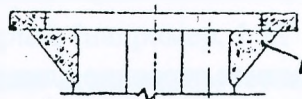


Рисунок 2.26 Уширение с устройством кронштейна: 1 – кронштейн.

д) уширение с использованием фундамента ледорезной части (рисунок 2.27);

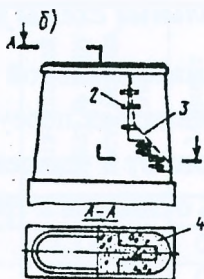


Рисунок 2.27 Уширение с использованием фундамента ледорезной части.

Для соединения новой кладки со старой устраивают штрабы, вертикальные шпонки, закладывают металлические анкеры из старогодных рельс, балок и т. д. Оголовки делают общим на всю ширину опоры в виде мощной железобетонной плиты. Если длина ледореза недостаточна для уширения, то новую пристраиваемую часть располагают на отдельном фундаменте (рисунок 2.28).

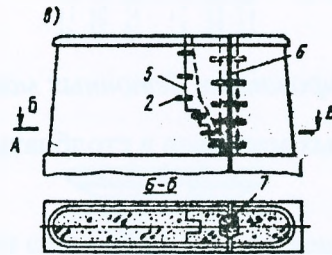


Рисунок 2.28 Уширение с пристройкой.

Для обеспечения свободной осадки новой части опоры по отношению к старой между ними оставлен сквозной вертикальный шов, заделанный после сооружения опоры и установки новых пролетных строений.

Группа Б — уширение ригеля и тела опоры:

Такая схема уширения предусматривает возможность превращения свайной опоры в свайно-стоечную, а также стоечной опоры в опору-стенку и прибетонирования бетонных массивов различных опор.

Проанализируем основные конструктивные схемы:

а) превращение свайной опоры в свайно-стоечную (рисунок 2.29);

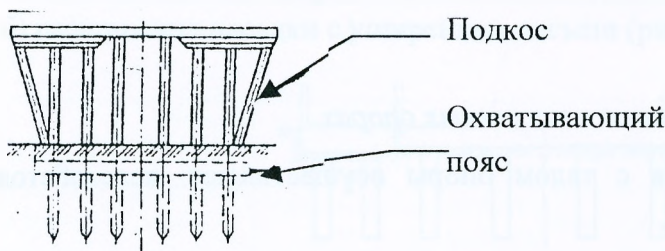


Рисунок 2.29 Уширение превращением опоры в свайно-стоечную.

Подкосы выполняют из металлических или железобетонных элементов. Для восприятия распора от подкосов уширенных стоечных или столбчатых опор к насадкам (сбоку или снизу) прибетонируют охватывающие пояса, арматуру которых рассчитывают на полное горизонтальное усилие в насадке.

б) превращение стоечной опоры в опору-стенку (рисунок 2.30).

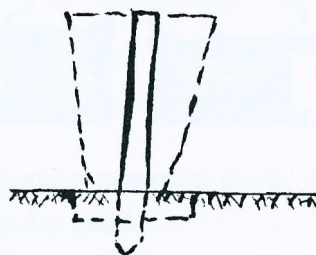


Рисунок 2.30 Уширение превращением опоры в опору-стенку.

в) прибетонирование бетонных массивов в свайных опорах (рисунок 2.31);

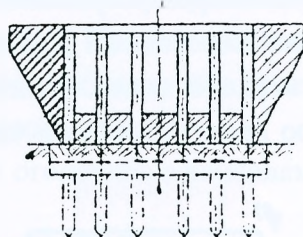


Рисунок 2.31 Уширение прибетонированием бетонных массивов.

г) прибетонирование бетонных массивов в столбчатых опорах (рисунок 2.32);

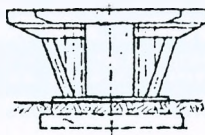


Рисунок 2.32 Уширение прибетонированием для столбчатых опор.

д) прибетонирование бетонных массивов в массивных опорах (рисунок 2.33);

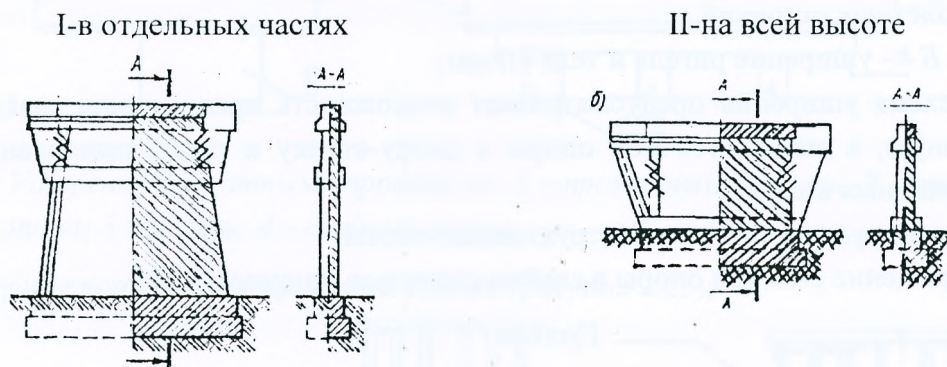


Рисунок 2.33 Уширение прибетонированием в массивных опорах.

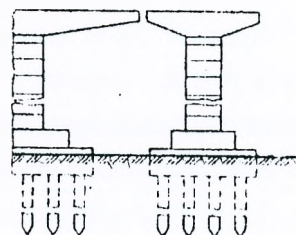
Объединение бетонных массивов с телом опоры осуществляют железобетонными рубашками, охватывающими тело опор.

Уширение промежуточных опор с развитием тела и ригеля осуществляют, как правило, не более чем на 3 м в каждую сторону. При уширении массивной опоры более чем на 2 м в каждую сторону пристраиваемые железобетонные массивы поверху и понизу должны быть прикреплены охватывающими железобетонными поясами через 3-4 м по высоте опоры. При значительном наклоне торцовых граней массивных опор допускается устройство приштамбованных массивов только в верхней части опоры.

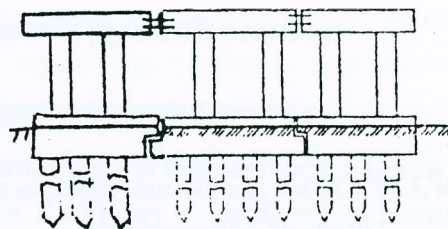
Группа В — уширение всей опоры с развитием фундамента (рисунок 2.34).

Возможные схемы уширения:

а) односторонние;



б) двусторонние;



в) одно- и двусторонние.

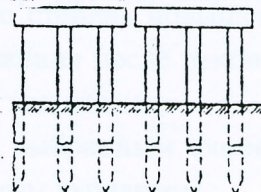


Рисунок 2.34 Схема уширения с развитием фундамента.

Особую реконструкционную группу составляют бесфундаментные устои. Принципиально возможны два технических решения:

а) расширение насадки с объединением по сваям (рисунок 2.35).

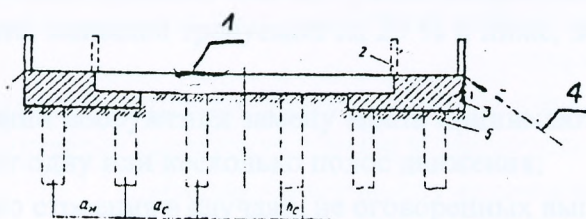


Рисунок 2.35 Схема уширения с объединением по сваям: 1 – существующая насадка; 2 – удаляемый открьлок; 3 – монолитная конструкция уширения; 4 – насыпь; 5 – сваи.

б) расширение насадки с уширением насыпи (рисунок 2.36).

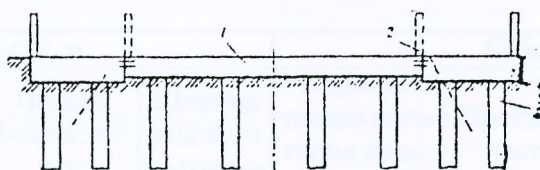


Рисунок 2.36 Схема уширения при уширении насыпи: 1 – существующая насадка; 2 – удаляемый открьлок; 3 – дополнительные сваи; 4 – сборные конструкции уширения.

И в заключении рассмотрим схемы расширения мостовых устоев.

Здесь возможны следующие технические решения:

а) пристройка конструкции к массивным устоям (рисунок 2.37).

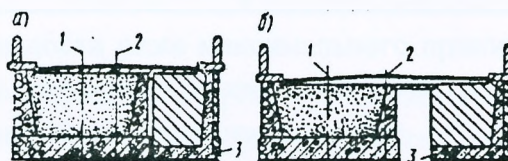


Рисунок 2.37 Схемы уширения массивных арокных опор: 1 – ось моста до уширения; 2 – ось моста после уширения; 3 – свод.

б) перекрытие железобетонной конструкцией (рисунок 2.38).



Рисунок 2.38 Схема уширения перекрытием железобетонной конструкцией: 1 – железобетонная конструкция.

3 Основы проектирования реконструкции мостов

3.1 Общая методика проектирования уширения мостов

Проектирование уширения мостов ведут в нижеописанной последовательности:

- устанавливают требуемый габарит сооружения, а по нему — размер уширения;
- выбирают схемы уширения, учитывая необходимую степень повышения грузоподъемности сооружения, требования по положению оси сооружения после реконструкции и необходимость максимального использования существующих элементов ;
- выполняют необходимые расчеты конструкций по выбранным схемам, производят технико-экономическое сравнение их между собой и с базовым вариантом ;
- осуществляют проектирование расчетного, наиболее экономичного варианта.

В качестве базового варианта принимают:

- новое строительство (полную замену сооружения) при состоянии конструкций опор и пролетных строений, соответствующем оценке «удовлетворительно» и ниже, и фактической грузоподъемностью моста, меньшей требуемой на 25 % и ниже, независимо от размера уширения;
- при ином состоянии сооружения замену моста принимают а качестве базового, если при уширении добавляют одну или несколько полос движения;
- замену пролетного строения в случаях, не оговоренных выше.

Габарит реконструируемого сооружения устанавливают по перспективной категории реконструируемого участка дороги.

Рассмотрим нормативные требования по реконструируемым мостам (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Габарит моста, м				Габарит моста, м			
Перспективная категория дороги	Проезжая часть	Полоса безопасности	Ширина ездового полотна	Перспективная категория дороги	Проезжая часть	Полоса безопасности	Ширина ездового полотна
V	4,5	0,75–1,0	6,0–7,0	II (три полосы)	11,25	1,0–2,0	13,25–15,25
IV	6,0	0,75–1,0	7,5–8,0	I (четыре полосы)	15,0	1,0–2,0	19,0–23,0
III	7,0	1,0–1,5	9,0–10,0				
II (две полосы)	7,5	1,0–2,0	9,5–11,5				

Размер полосы безопасности ниже максимального принимают при наличии соответствующего обоснования. При отсутствии обосновывающей документации габарит сооружения определяют по перспективной интенсивности движения.

Перспективную интенсивность определяют по данным прироста интенсивности движения с учетом индивидуальных условий функционирования сооружения в процессе эксплуатации, а при отсутствии необходимых данных по среднестатистическим показателям прироста интенсивности, которые изменяются по категориям следующим образом: I кат – 1,01–1,1; II кат – 1,03–1,2; III кат – 1,06–1,4; IV кат – 1,04–1,5; V кат – 1,02–1,3.

Габариты тротуаров принимают в соответствии с требованиями СНиПа в зависимости от интенсивности пешеходного движения. Допускается на реконструируемых мостах, находящихся вне населенных пунктов, не устраивать тротуары и служебные проходы при следующих условиях:

Категория дороги	I, II	III	IV, V
Длина моста, м, до	15	25	40

Ездовое полотно в этих сооружениях должно ограждаться перилами, совмещенными с ограждающими устройствами парапетного или барьерного типа.

Выбор схем уширения мы рассмотрели ранее.

При проработке вариантов уширения следует использовать возможность объединения пролетных строений в температурно-неразрезные строения, что улучшает транспортно-эксплуатационные показатели сооружения.

Объединение может быть осуществлено:

- 1) по приставляемым элементам пролетных строений;
- 2) по накладной железобетонной плите;
- 3) по стыковым накладкам;
- 4) с помощью продольных тяжей (распорок), закрепленных на ребрах балок.

В отдельных случаях допускается реконструируемые пролетные строения объединять в неразрезные путем омоноличивания надопорных участков.

При разработке проекта уширения должны быть предусмотрены работы по ремонту или замене элементов с недостаточным сроком службы (гидроизоляция, покрытие, тротуары, деформационные швы и др.). Должны быть также предусмотрены меры, исключаящие развитие традиционных повреждений — разрушение защитного бетонного слоя на фасаде железобетонных балок, развитие коррозии арматуры балок, особенно в приопорных участках, коррозии стальных конструкций.

3.2 Особенности расчетов пролетных строений

Временные нагрузки и воздействия на реконструируемые мосты следует принимать в соответствии со СНиП 2.05.03-84 и с категорией дороги.

Расчет пролетных строений должен учитывать все возможные стадии его уширения и усиления, а также отражать существующий критерий предельного состояния.

В схемах уширения с накладной плитой, раздвижкой тротуарных блоков или с увеличением размеров пешеходного габарита расчетом проверяют крайние балки пролетных строений на прочность при изгибе с кручением.

В схемах уширения, в которых предусмотрено бетонирование консолей, развитие существующих консолей и использование бетонных (монолитных) ребер жесткости или железобетонных кронштейнов железобетонную плиту проверяют на действие местной нагрузки расчетом по прочности и трещиностойкости.

Если для уширения пролетного строения применяют сборно-монолитную ребристую накладную плиту, то расчеты по предельным состояниям несущих элементов производят отдельно для главных балок и накладной плиты.

В схемах уширения железобетонных пролетных строений приставляемыми конструкциями расчетом проверяют достаточность несущей способности существующих и новых элементов с учетом измененного перераспределения усилий между ними. Учитывая, что добавление балок наряду с разгрузкой существующих балок приводит к перегрузке диафрагм и плит, расчетом проверяют прочность не только крайних и средних балок, но и плиты проезжей части и диафрагм.

В схемах уширения сталежелезобетонных полетных строений, уширенных путем дробления консолей плит с устройством дополнительных прогонов, проверяют прочность балок, учитывая, совместную работу прогона с плитой и балками в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84.

При этом расчетное сопротивление стержневой арматуры сохраняемых несущих элементов существующих конструкций определяют по формуле:

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_n} \cdot m_t,$$

где R_{sn} – нормативное сопротивление арматуры; γ_n – коэффициент надежности по арматуре и $\gamma_n=1,0-1,2$; m_t – коэффициент условий работы $m_t=0,85-0,95$,

а расчетное сопротивление металла балок в стальных и сталежелезобетонных пролетных строениях определяют по формуле:

$$R_y = \frac{R_{un}}{n_x} \cdot m_t^o,$$

где R_{un} – временное сопротивление стали; n_x – переходной коэффициент и $n_x=1,75-2,0$; m_t^o – дополнительный коэффициент условий работы и $m_t^o=0,90-0,95$.

3.3 Методика учета в расчетах длительных деформаций

Учет длительных деформаций имеет большое значение при вычислении изгибающих моментов в элементах объединенного пролетного строения.

При соблюдении оптимальных темпов реконструкции, усилия в элементах пролетного строения определяют методом сил, обобщенным на случай учета изменения их во времени за счет ползучести бетона.

Основную систему пролетного строения принимают в виде отдельных несущих элементов, отдаленных друг от друга в поперечном направлении. По линиям разделения взамен отброшенных связей прикладывают лишние неизвестные (X_1, \dots, X_m).

Лишние неизвестные в уширенном пролетном строении от собственного веса и сил преднапряжения элементов уширения в произвольный момент времени

t определяются из решения системы канонических уравнений вида:

$$\sum_{k=1}^m X_k^t \cdot \bar{\delta}_{ik}^{tr_t} + \bar{\Delta}_i^{tr_t} = 0,$$

где X_k^t – значение неизвестного в m -раз статически неопределимой системе в момент времени t (k принимается равным от 1 до m); $\bar{\delta}_{ik}^{tr_t}$ – коэффициент при неизвестной; $\bar{\Delta}_i^{tr_t}$ – грузовой член.

Вид и количество лишних неизвестных должны соответствовать конструкции пролетного строения.

Методика расчета приведена в обязательном приложении к «Инструкции по уширению автодорожных мостов и путеводов» (ВСН 51-88).

3.4 Общая методика проектирования уширения опор

Проектирование опор уширения выполняют после предварительного выбора схемы уширения.

Проверку расчетом уширенных опор выполняют как по материалу конструкции, так и по грунту основания, в соответствии с требованиями СНиП.

При определении усилий, действующих на опоры, нагрузки в продольном и поперечном направлениях следует определять отдельно.

При проверке расчетом элементов конструкций опор, имеющих дефекты, усилия в ослабленных поперечных сечениях следует определять от опорных реакций при не выгоднейшем расположении внешних нагрузок. При уширении опор путем развития фундамента и надфундаментной части, новые фундаменты могут быть не связаны с существующим, если приняты меры по уменьшению неравномерности осадки опор. При отсутствии таких мер ригеля и фундаменты объединяют между собой.

Допускаемую неравномерность осадки старой и новой частей опор определяют условиями надежности узла объединения балок пролетных строений и принимают равной $0,001b$ и $0,002b$ (b – расстояние между балками) в диафрагменных и бездиафрагменных пролетных строениях.

Одним из главных вопросов в проектировании уширения опор является вопрос определения несущей способности грунтов основания. В практике для этого широко используют метод зондирования. Для этого у каждой пересчитываемой опоры закладывают по пять точек зондирования в обе стороны от фундамента. Точки зондирования следует располагать по прямой проведенной через центр свайного ростверка поперек оси моста на расстоянии 1; 2; 3; 5 и 10 м от края плиты ростверка. Глубину зондирования назначают на 2 м ниже отметки подошвы опоры.

Ускоренную оценку возможности уширения опор можно осуществить, используя обязательное приложение к «Инструкции по уширению автодорожных мостов и путепроводов» (ВСН 51-88).

4 Способы и расчеты усиления пролетных строений и их элементов при реконструкции железобетонных мостов

4.1 Общие принципы усиления пролетных железобетонных строений

Современные железобетонные пролетные строения, как правило, имеют высокую грузоподъемность. Однако многие эксплуатируемые мосты имеют недостаточную грузоподъемность пролетных строений, что и определяет необходимость их усиления или замены новыми. Грузоподъемность пролетного строения оценивается классом наиболее слабого элемента. Поэтому для повышения грузоподъемности пролетного строения до требуемого уровня может потребоваться усиление небольшого числа элементов. В связи с этим усиление эффективно с целью продления срока службы моста.

Выполненные в нашей стране, хотя и немногочисленные, усиления железобетонных пролетных строений показывают: усиление балочных пролетных строений вызывается необходимостью повышения их грузоподъемности (класса) чаще всего по нормальным и главным растягивающим напряжениям.

Работа усиленных конструкций чрезвычайно сложна и зависит от множества факторов как конструктивного, так и технологического порядка, поэтому выбор схемы усиления конструкций является многовариантной задачей. Однако, учитывая современный уровень развития методов оптимального проектирования конструкций и многообразие возможных схем и приемов усиления, условий нагружения и т.п., разработка общего подхода к задачам оптимизации представляется делом будущего. Поэтому при проектировании полагают, что речь идет о расчете усиления конструкции по вполне определенной схеме с заранее заданными параметрами и при известных воздействиях на нее.

Следует отметить, что почти все методы усиления приводят к повышению степени либо внешней, либо внутренней статической неопределенности системы или ее отдельных элементов.

Вопрос об усилении или замене пролетных строений решается на основании технико-экономического анализа. Существенное влияние на выбор решения оказывает общее физическое состояние пролетных строений.

В зависимости от типа конструкций, наличия слабых элементов, степени повышения грузоподъемности и местных условий применяют различные способы усиления. Такие как увеличение поперечного сечения балок с одновременным усилением их креплений, установка дополнительных балок, введение дополнительных элементов в систему пролетных строений, устройство шпренгелей, превращение разрезных балок в неразрезные, установка дополнительных опор, превращение стального пролетного строения в сталежелезобетонное путем укладки железобетонной плиты и т.п.

Для экономического сравнения вариантов усиления или замены пролетных строений мостов недостаточно располагать только данными о единовременных затратах, связанных со стоимостью строительных работ. По варианту усиления необходим учет эффективности отдаления (на срок службы усиленного сооружения) капитальных вложений на последующую замену пролетного строения новым, различных для рассматриваемых вариантов дополни-

тельных расходов, связанных с неблагоприятными изменениями эксплуатационной работы автотрассы в период реконструкции моста.

Экономическая оценка эффективности усиления или замены пролетных строений выполняется при сравнении соответствующих вариантов по суммарным годовым приведенным затратам $C_{\text{пр}}^*$.

При усилении пролетного строения с последующей заменой на новое

$$C_{\text{пр}}^y = K_0^y + \sum_{t=1}^{t_1} \frac{C_t}{(1+E)^t} + \frac{K_1}{(1+E)^{t_1}} + \frac{C_t}{(1+E)^{t_2}}$$

при замене пролетного строения

$$C_{\text{пр}}^z = K_0^z + \sum_{t=1}^{t_2} \frac{C_t}{(1+E)^t}$$

где K_0^y, K_0^z — единовременные затраты на усиление и замену пролетного строения; C_t — ежегодные эксплуатационные расходы, включающие в себя амортизационные отчисления и затраты по текущему содержанию пролетного строения (принимаются одинаковыми по обоим вариантам); K_1 — единовременные затраты на замену усиленного пролетного строения, осуществляемые через t_1 лет; t_1 — срок службы усиленного пролетного строения; $t_2=t_1+1$ — срок, ограничивающий период суммирования затрат по вариантам; t — период времени приведения в годах; E_n — нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат и $E_n=0,08$.

4.2 Способы усиления балок малых мостов

Наибольший эффект от реконструкции достигается при комплексном подходе, обеспечивающем увеличения грузоподъемности пролетных строений, изменения габаритов моста, повышения долговечности конструкций и безопасности движения. Наиболее ответственной работой является увеличение грузоподъемности за счет усиления продольных балок, диафрагм и плиты проезжей части. Наиболее простым способом усиления продольных балок считается постановка дополнительной рабочей арматуры (рисунок 4.1).

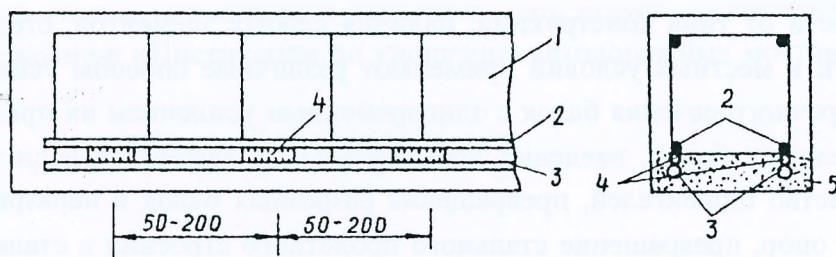


Рисунок 4.1 Усиление балок постановкой дополнительной арматуры: 1 — балка; 2 — рабочая основная арматура; 3 — дополнительная арматура, 4 — коротыши; 5 — дополнительный слой бетона.

С этой целью скалывают защитный слой и оголяют продольную арматуру до половины ее диаметра. К оголенной арматуре приваривают коротыши диаметром до 40 мм и длиной до 200 мм, а к ним — дополнительную продольную арматуру. Затем защитный слой восстанов-

ливают торкретированием или устанавливают опалубку и омоноличивают. Таким способом можно увеличить сечение изгибаемых элементов до 80 мм.

Как показывают подсчеты, грузоподъемность по нормальным сечениям при таком способе усиления можно повысить на 10-15%

Увеличения грузоподъемности можно достичь также при большей величине наращивания высоты сечения изгибаемых элементов (рисунок 4.2). В этом случае арматуру усиления соединяют с существующей арматурой прямыми и наклонными хомутами, а также наклонными стержнями. Концы стержней рабочей арматуры усиления отгибают и приваривают к существующей арматуре или прикрепляют к ней наклонными стержнями. Подобным образом можно увеличить грузоподъемность до 15-35%.

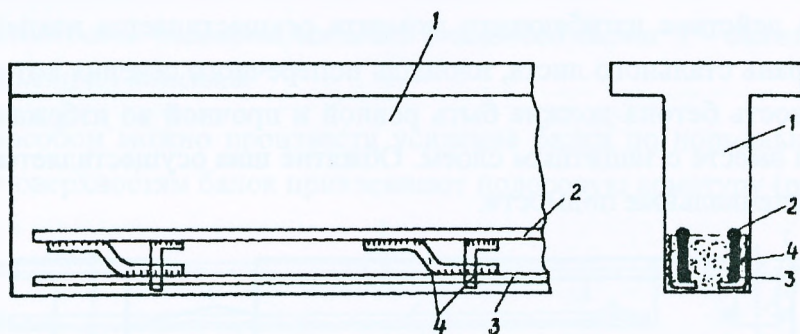


Рисунок 4.2 Усиление балок увеличением высоты сечения: 1 – балка; 2 – основная арматура; 3 – дополнительная арматура; 4 – вертикальные и наклонные элементы.

При необходимости усиления не только нормальных, но и наклонных сечений применяют усиление балок при помощи железобетонных рубашек (рисунок 4.3).

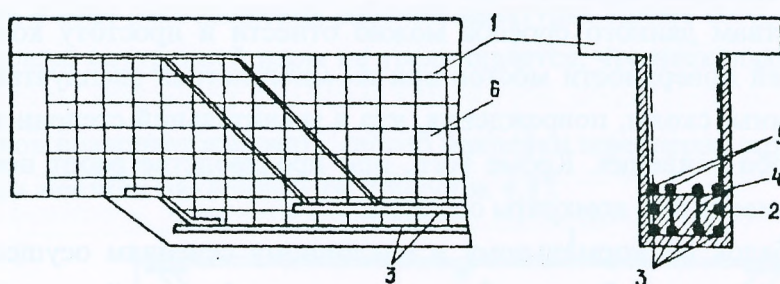


Рисунок 4.3 Усиление балок при помощи железобетонной рубашки: 1 – балка; 2 – дополнительный слой бетона; 3 – дополнительная продольная арматура; 4 – коротыши; 5 – основная рабочая арматура; 6 – противоусадочная арматура.

В этом случае часть продольной арматуры усиления в приопорной зоне отгибают и выводят на боковые поверхности балок. Перед бетонированием поверхность старого бетона очищают, продувают сжатым воздухом и для улучшения сцепления покрывают адгезионной промазкой. Бетонная смесь укладывается в опалубку.

Минимальная толщина слоя дополнительного бетона определяется расчетом с учетом требований норм по минимальной толщине защитного слоя. Марка бетона по прочности должна быть не ниже В-30 и на 10 МПа выше, чем у бетона усиливаемой конструкции. Консистенция смеси пластичная, по возможности на быстротвердеющих, безусадочных и расширяющихся цементах.

Приведенная схема усиления позволяет повысить грузоподъемность сооружения на 20-40% как по нормальным, так и по наклонным сечениям.

Существенным недостатком всех выше рассмотренных схем является необходимость прекращения движения транспортных средств на период производства работ.

Довольно широко применяют в практике и усиление наклейкой дополнительной арматуры (рисунок 4.4).

В этих схемах усиления использован принцип внешнего армирования.

В качестве арматуры применяются либо стальные листы, либо прокатные профили (швеллеры, уголки). Связь арматуры с бетоном осуществляется при помощи различных полимерных клеевых композиций, приготовленных на основе эпоксидных смол.

Усиление на действие изгибающего момента осуществляется наклейкой на нижнюю горизонтальную грань стального листа, площадь поперечного сечения которого подбирается расчетом. Поверхность бетона должна быть ровной и прочной во избежание отслоения наклеиваемого листа вместе с защитным слоем. Обжатие шва осуществляется домкратами, установленными на специальные подмости.

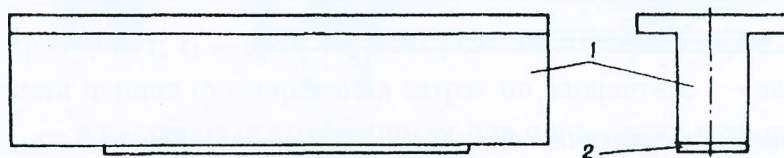


Рисунок 4.4 Усиление балок способом наклейки стального листа: 1-балка; 2-стальной лист.

Жесткость балок на изгиб при таком усилении увеличивается на 11%, а ширина раскрытия трещин уменьшается на 35-40%.

К достоинствам данного способа можно отнести и простоту конструкции усиления. Однако на нижней поверхности мостов при их многолетней эксплуатации имеются многочисленные трещины, сколы, повреждения, что в значительной степени затрудняет применение такого способа усиления. Кроме того, при производстве работ необходимо возводить специальные подмости под домкраты обжатия.

Усиление балок по нормальному и наклонному сечениям осуществляется наклейкой стальных полос под плитой балки и соединением их с фасонкой наклонными полосами (рисунок 4.5).

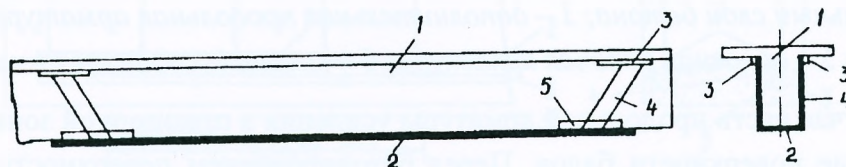


Рисунок 4.5 Усиление балок способом наклейки: 1 – балка; 2 – горизонтальный стальной лист; 3 – стальная полоса; 4 – наклонный лист; 5 – фасонка.

Отметим, что фасонки привариваются к стальному листу. Для увеличения надежности усиления фасонки и стальные полосы можно дополнительно прикрепить высокопрочными болтами и шпильками.

Эта схема усиления имеет те же недостатки, что и предыдущая. Особое затруднение вызывает обжатие наклонных листов.

Усиление по наклонным сечениям осуществляется постановкой вертикальных листов на приопорных участках боковых поверхностей балки. В этом случае также существенно увеличиваются прочность и надежность объединения стального листа с бетоном балки, если дополнительно обжать листы болтами (рисунок 4.6).

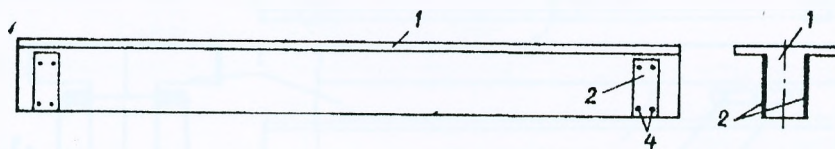


Рисунок 4.6 Усиление балок способом наклейки стального листа: 1 – балка; 2 – вертикальный лист; 4 – шпильки.

Этим же способом можно произвести усиление балки по нормальному сечению. Для этого к боковым поверхностям балок приклеивают полосовую арматуру (рисунок 4.7).

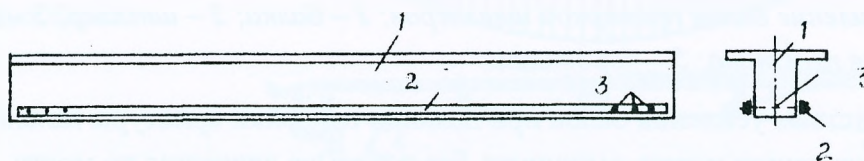


Рисунок 4.7 Усиление балки способом приклеивания полосовой арматуры: 1 – балка; 2 – боковая полосовая арматура; 3 – шпильки.

Несомненно, что в практике возможна и любая их комбинация.

К недостаткам такого усиления можно отнести то, что необходимо высверливать отверстия под шпильки в зоне расположения рабочей арматуры. Кроме того, при таком расположении арматуры плечо внутренней пары не увеличивается, что несколько снижает эффективность усиления.

Этих недостатков позволяет избежать способ наклейки швеллеров к ребру балки и постановкой гибких или жестких наклонных тяг (рисунок 4.8).

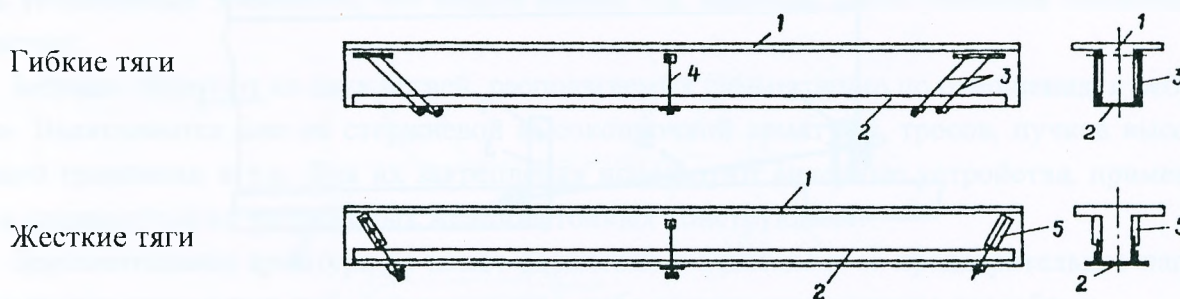


Рисунок 4.8 Усиление балок способом наклейки швеллеров и постановки тяг: 1 – балка; 2 – швеллер; 3 – гибкие наклонные тяги; 4 – гибкие вертикальные тяги; 5 – жесткие наклонные тяги.

Такое усиление работает, как по нормальным, так и по наклонным сечениям. Технология усиления следующая: после подготовки поверхности бетона швеллер подвешивают на вертикальных и наклонных тягах, раскладывают по его длине полимерраствор, плотно прижимают к поверхности бетона вертикальными и наклонными тягами и закрепляют гайками.

Вместо наклейки швеллеры могут быть приварены к рабочей арматуре балки (рисунок 4.9). Для этого в местах приварки скалывают с двух сторон ребер углы с оголением арматуры нижнего ряда не менее, чем на половину диаметра. Арматуру очищают, удаляя остатки бетона и продукты коррозии. К оголенной арматуре приваривают через коротыши опорные пластины. Подтягивание профилей усиления к опорным пластинам осуществляют посредством прижимных болтов. Затем производят приварку рабочих швеллеров к опорным пластинам.

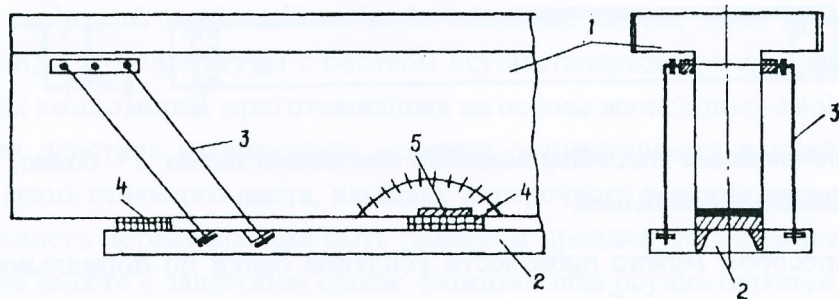


Рисунок 4.9 Усиление балок приваркой швеллеров: 1 – балка; 2 – швеллер; 3 – тяги; 4 – опорная пластина; 5 – коротыши.

К достоинствам усиления балок при помощи наклейки арматуры можно отнести то, что все работы по усилению можно выполнять без перерыва движения по мосту.

Усиление по изгибающему моменту можно осуществить с помощью установки комбинированных каркасов (рисунок 4.10).

Особенностью данного устройства является то, что швеллер опирается на специальные стойки, прикрепленные к балке шпильками. Тяги крепятся с одной стороны к стойкам, а с другой к упорам в виде швеллера, объемлющего торец балки. Натяжение тяг можно производить динамометрическим ключом.

За счет увеличения плеча внутренней пары сил возрастает момент, воспринимаемый балкой, величина которого может быть подобрана на восприятие внешней нагрузки.

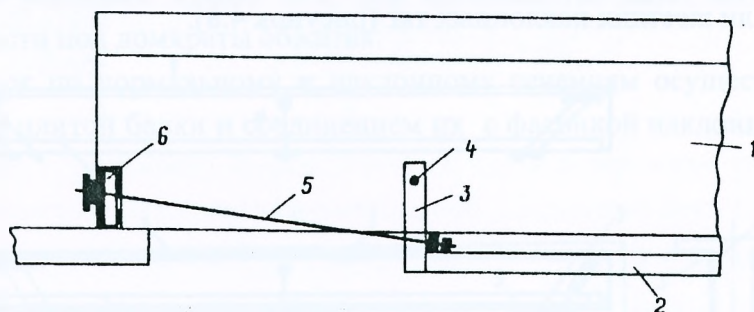


Рисунок 4.10 Усиление балок комбинированными каркасами: 1 – балка; 2 – швеллер; 3 – стойка; 4 – шпилька; 5 – наклонная тяга; 6 – упор.

Достоинством схемы является возможность усиления моста без перерывов в движении транспортных средств, простота конструкций усиления, возможность изготовления их силами эксплуатирующих организаций.

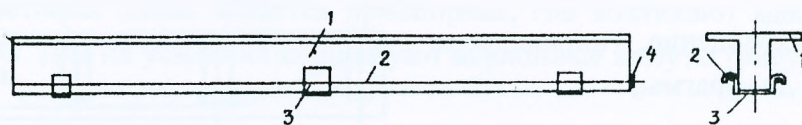
Опыт эксплуатации мостов по схемам усиления, рассмотренным выше, показал достаточную их надежность и долговечность.

4.3 Способы усиления балок средних и больших мостов

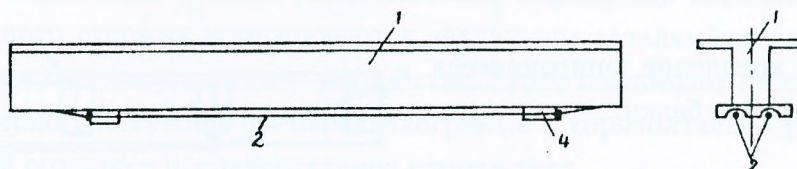
Одним из наиболее простых способов усиления изгибаемых железобетонных балок, осуществляемых без их разгрузки, является устройство предварительно напряженных затяжек, которые могут иметь горизонтальное или шпренгельное очертание (рисунок 4.11).

Расположение затяжек:

А) по боковой поверхности;



Б) по нижней поверхности;



В) для консольных балок.

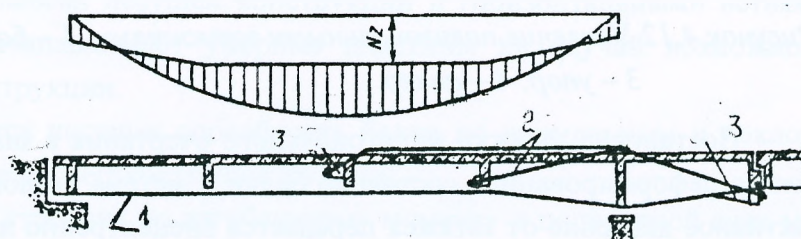


Рисунок 4.11 Усиление горизонтальными предварительно напряженными затяжками (кабелями): 1 – балка; 2 – напрягаемая арматура; 3 – соединительные элементы; 4 – упор.

Применение предварительно напряженной арматуры в виде затяжек изменяет напряженно-деформированное состояние балок, обращая их в комбинированные системы. Благодаря чему изгибаемые элементы становятся внецентренно сжатыми с увеличенной площадью сечения арматуры.

Придание затяжкам предварительного напряжения позволяет повысить изгибную жесткость усиливаемых элементов, что весьма важно, т.к. нагрузка после усиления значительно возрастает.

Затяжки образуют из двух ветвей, располагаемых симметрично по отношению к ребрам балки. Выполняются они из стержневой высокопрочной арматуры, тросов, пучков высокопрочной проволоки и т.п. Для их закрепления используют анкерные устройства, применяемые в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

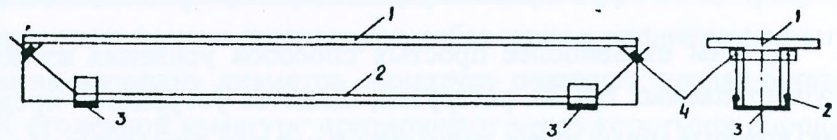
Дополнительная арматура не имеет сцепления с бетоном и ее предварительное напряжение может создаваться либо механическим, либо электротермическим способами.

Усиление при помощи преднапряженных затяжек позволяет повысить первоначальную несущую способность усиливаемых элементов в 2-2,5 раза. Однако это усиление происходит только на действие изгибающих моментов.

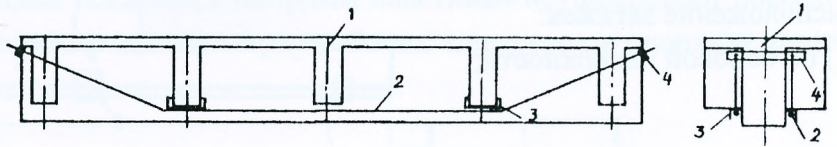
При необходимости усиления на действие изгибающих моментов и поперечных сил, усиление производят затяжками полигонального очертания с различными типами крепления (рисунок 4.12).

Расположение затяжек:

А) крепление специальными упорами;



Б) крепление, упирающееся на диафрагмы;



В) крепление, опирающееся на ребро балки.

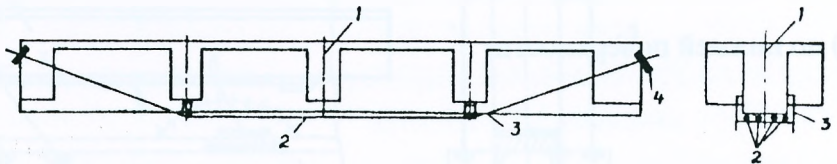


Рисунок 4.12 Усиление полигональными затяжками: 1 – балка; 2 – напрягаемая арматура; 3 – упор; 4 – анкер.

Постановка затяжки полигонального очертания в значительной степени меняет напряженно-деформированное состояние балки. Система становится статически неопределяемой. Активное давление от затяжек передается внецентренно на опорные сечения балочного элемента, в котором кроме сжатия возникают концевые изгибающие моменты, изменяющие пролетные моменты от внешних нагрузок. Помимо этого в шпренгельных затяжках в местах перегиба тяжелей действуют разгружающие силы. Таким образом, изгибаемые элементы превращаются во внецентренно сжатые, что необходимо учитывать как при расчете, так и при конструировании.

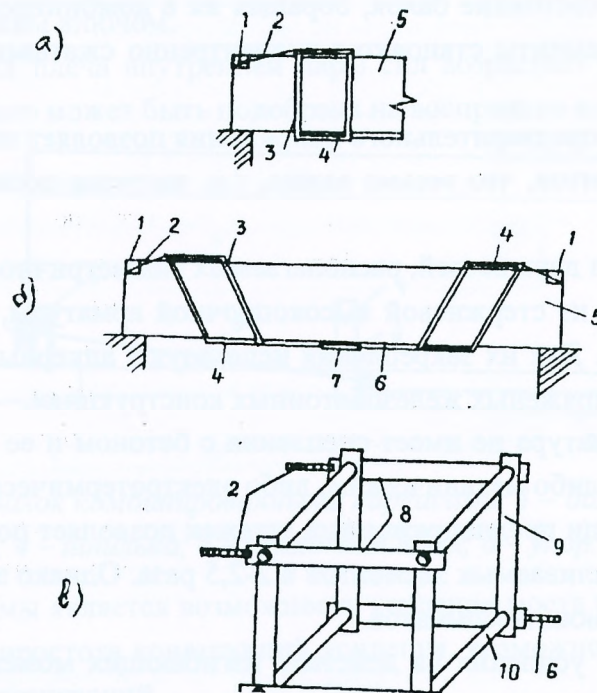


Рисунок 4.13 Усиление балки наклонными хомутами: а) и б) – устройство и конструкция до и после создания предварительного напряжения; в) – общий вид. 1 – закладные

детали; 2 – горизонтальные тяжи; 3 – шарнирные параллелограммы; 4 – упорные пластины; 5 – строительная конструкция; 6 – натяжные элементы; 7 – муфта; 8, 9 – горизонтальные и наклонные элементы параллелограмма; 10 – шарнир.

Одной из опасных зон мостовых балок является приопорная, где возникают максимальные касательные напряжения. Для их усиления используют наклонные хомуты (рисунок 4.13).

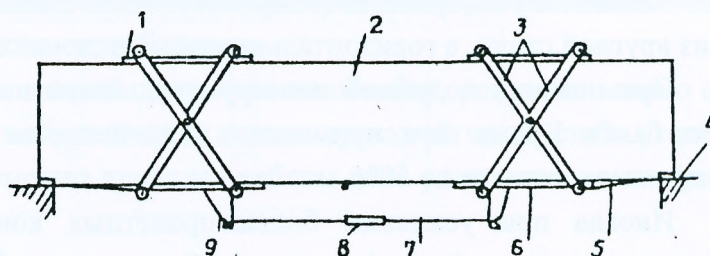
Для этого в зоне развития наклонных трещин устанавливают шарнирный параллелограмм. Один конец горизонтального стержня приваривают к закладным деталям на торце балки, второй – к верхнему горизонтальному элементу устройства. Затем соединяют нижние горизонтальные элементы шарнирного стержневого параллелограмма с горизонтально расположенной арматурой, в которой создается предварительное напряжение.

Между горизонтальными гранями несущей конструкции и горизонтальными ветвями шарнирного параллелограмма устанавливают упорные пластины на случай возможного смещения в процессе работы конструкции.

Таким усилением повышается несущая способность балки по нормальным и наклонным сечениям, а также увеличивается жесткость конструкции.

Усиление балок пролетного строения по изгибающему моменту и поперечной силе может быть произведено при помощи установки крестообразных хомутов, соединенных с продольной напрягаемой арматурой (рисунок 4.14).

А) Общий вид усиленной балки.



Б) Общий вид хомута.

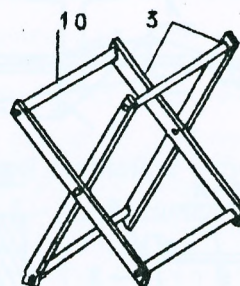


Рисунок 4.14 Усиление балок при помощи крестообразных хомутов: 1 – верхние пластины; 2 – несущая конструкция; 3 – хомуты; 4 – закладные детали; 5 – стержни; 6 – нижние пластины; 7 – тяжи; 8 – хомуты; 9 – кронштейны; 10 – цилиндрический шарнир.

Таким усилением повышается несущая способность балки по нормальным и наклонным сечениям, а также увеличивается жесткость конструкции.

При создании в арматуре предварительного напряжения хомуты равномерно обжимают балку в зоне появления наклонных трещин.

За счет изменения высоты кронштейна можно добиться желаемого значения изгибающего момента.

Для усиления балок можно использовать и распорные системы (рисунок 4.15).

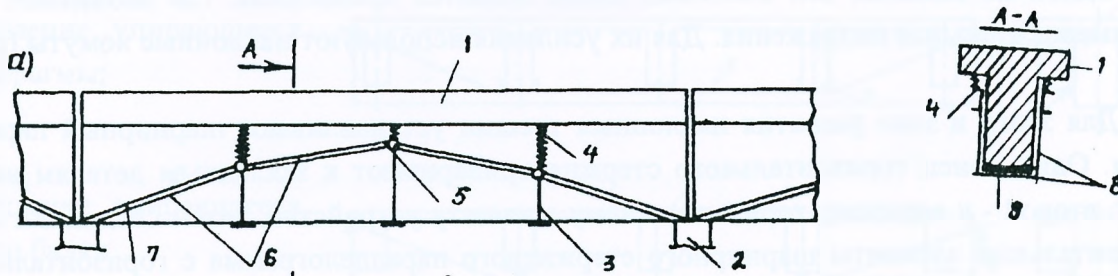


Рисунок 4.15 Усиление балки при помощи распорной системы: 1 – балка; 2 – опора; 3 – подвеска; 4 – упорные пружины; 5 – узел соединения; 6 – распорная система; 7 – жесткий элемент; 8 – подвески-хомуты; 9 – горизонтальный элемент.

Для этого с двух сторон балки устанавливаются элементы распорной системы с подвесками. В узлах этой системы ставят предварительно сжатые пружины. При освобождении пружины обжимают конструкцию и тем самым создают упругие опоры для балки.

Подвески на концах снабжены резьбой с гайками. При завинчивании гайки часть нагрузки с балки передается на распорную систему.

Элементы распорной системы могут быть выполнены из прокатных профилей, подвески из круглой стали, а горизонтальные элементы - из полосовой.

При помощи подобной конструкции можно в несколько раз увеличить грузоподъемность балки. Кроме того, применение устройства по сравнению с фермой позволяет уменьшить расход металла до 50%.

Иногда при усилении большепролетных конструкций (балок, ферм) используют шпренгельные устройства (рисунок 4.16).

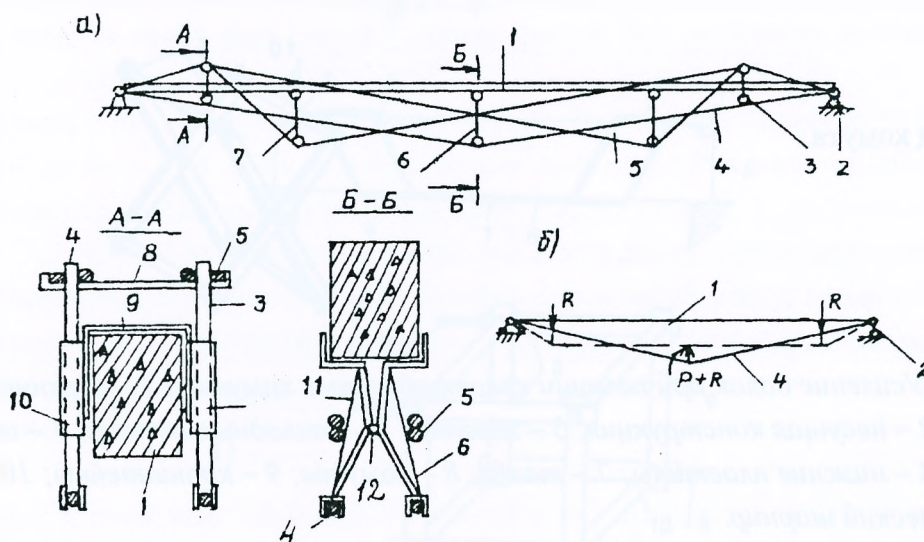


Рисунок 4.16 Усиление большепролетных балок: а – общий вид; б – схема деформации (принцип работы) основной тяги; 1 – стержень; 2 – шарнирные опоры; 3, 6, 7 – рас-

порки; 4 – основная тяга; 5 – дополнительная тяга; 8 – рама; 9 – хомут;
10 – направляющие; 11 – рычаги; 12 – цилиндрический шарнир.

4.4 Способы усиления пролетных строений

Для пролетных строений, у которых нарушены поперечные связи (разрушены объединяющие накладки по диафрагмам, повреждены или разрушены продольные швы омоноличивания) усиление можно осуществить при помощи поперечной железобетонной или металлической балки (рисунок 4.17).

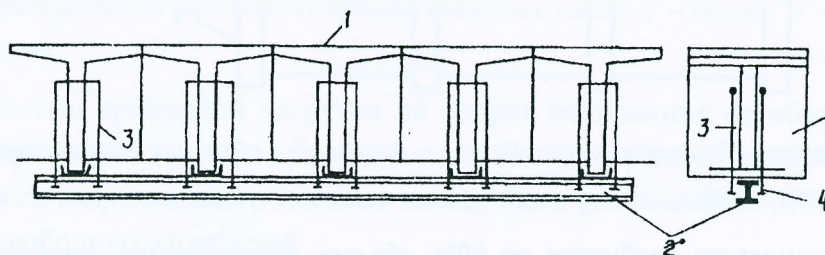


Рисунок 4.17 Усиление поперечными балками: 1 – ребристые балки пролетного строения; 2 – металлическая поперечная балка; 3 – тяги; 4 – гайки.

Балка подвешивается при помощи тяжей, прижимается и закрепляется гайками. Одновременно можно произвести усиление и продольных несущих элементов, например, наклейкой дополнительной арматуры.

Усиление поперечными балками восстанавливает пространственную жесткость сооружения, улучшает распределение нагрузки между балками.

При реконструкции моста с организацией движения по объезду, усиление можно осуществить прибетонированием монолитной накладной плиты проезжей части, либо установкой сборной плиты. При этом одновременно проводят работы и по уширению моста (рисунок 4.18).

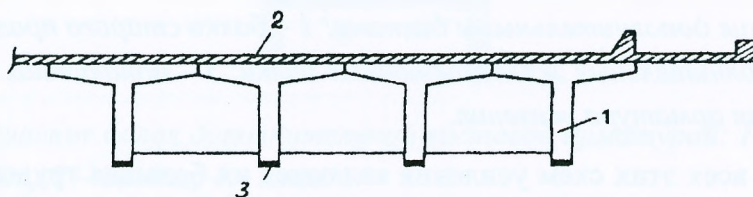


Рисунок 4.18 Усиление пролетных строений монолитной плитой: 1 – существующее пролетное строение; 2 – монолитная плита; 3 – дополнительная полосовая арматура.

При укладке нового бетона поверх старой проезжей части предусматривают мероприятия, обеспечивающие надежное сцепление нового бетона со старым.

Поскольку дополнительная бетонная плита увеличивает постоянную нагрузку на сооружение, часто возникает необходимость усиления ребер балок. Поэтому рекомендуется в этом случае усилить ребро балки внешней предварительно напряженной арматурой или наклейкой полосовой арматуры.

Установка накладной плиты и объединение ее в совместную работу с существующей конструкцией позволяют увеличить рабочую высоту сечения с соответствующим увеличени-

ем плеча внутренней пары сил. В результате чего возрастает значение изгибающего момента, воспринимаемого балкой.

Усиление пролетного строения с одновременным уширением может быть выполнено сборными плоскими или ребристыми плитами (рисунок 4.19).

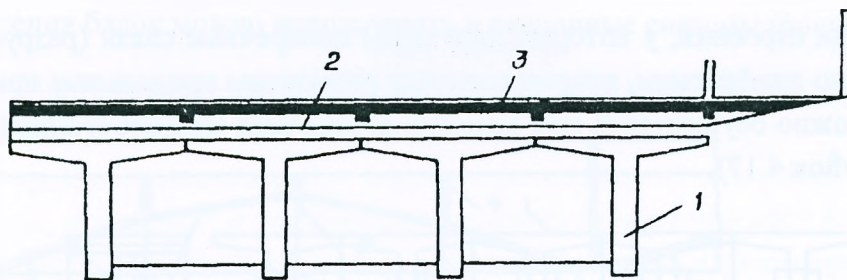


Рисунок 4.19 Усиление сборными плитами: 1 – балки; 2 – сборные железобетонные плиты; 3 – покрытие.

При таком усилении требуется до 60% объема железобетона, необходимого на новое пролетное строение. При этом постоянная нагрузка на продольные балки возрастает на 40-50%.

Сборные пролетные строения могут быть усилены дополнительными балочными элементами в монолитном или сборно-монолитном вариантах (рисунок 4.20).

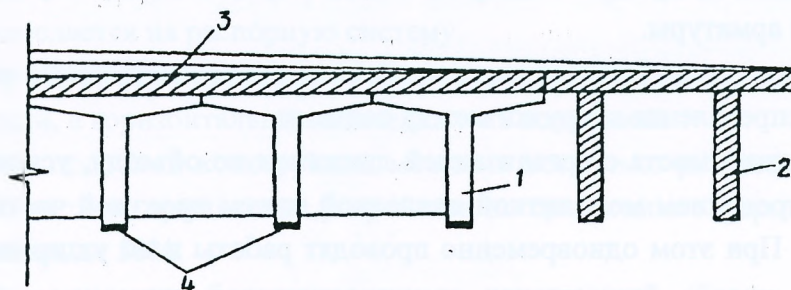


Рисунок 4.20 Усиление дополнительными балками: 1 – балки старого пролетного строения; 2 – дополнительные железобетонные балки; 3 – монолитная плита; 4 – металлическая арматура усиления.

Недостатками всех этих схем усиления являются их большая трудоемкость, необходимость возведения опалубки, большие объемы нового бетона, значительное возрастание постоянной нагрузки на старые элементы пролетного строения.

Поэтому довольно часто для балочно-разрезных мостов усиление осуществляют превращением разрезных балок в неразрезные. Применяется он не только с целью повышения несущей способности, но и уменьшения и более равномерного распределения в них изгибающих моментов и прогибов.

Превращение разрезных балок в неразрезные достигается омоноличиванием опорных узлов многопролетных разрезных балок. Соединение смежных балок на опорах должно обеспечивать восприятие опорных изгибающих моментов. С этой целью на опорах балок оголяют арматуру и объединяют ее между собой, затем омоноличивают по всей ширине пролетного строения (рисунок 4.21).

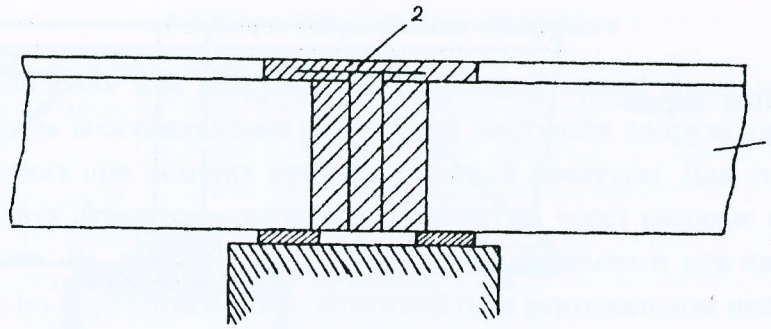


Рисунок 4.21 Усиление балок омоноличиванием опорных узлов: 1 – балка; 2 – бетон омоноличивания.

При воздействии временной нагрузки на опорах появляются изгибающие моменты, в результате чего пролетные моменты уменьшаются. По сравнению с разрезными балками величина предельного разрушающего момента может быть увеличена до 30%. Кроме того, меняются частоты свободных колебаний.

При соединении балок можно исключить бетонные работы. Для этого зазор между балками перекрывается стальным листом, уложенным на поверхность полков на слой полимерраствора. Прикрепляется он к полкам балок высокопрочными болтами. Нижнюю часть балки расклинивают металлическими клиньями (рисунок 4.22).

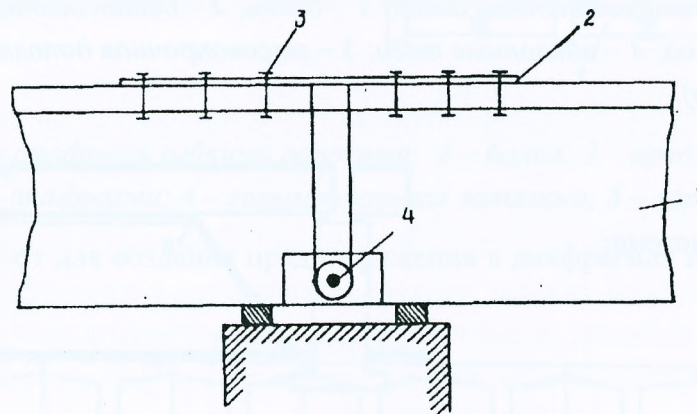


Рисунок 4.22 Объединение балок дополнительной листовой арматурой: 1 – балка; 2 – стальной лист; 3 – болты; 4 – клин.

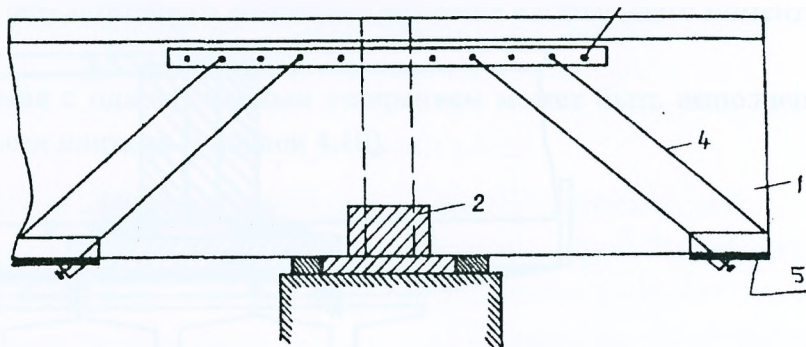
Усиление по изгибающему моменту и поперечной силе можно осуществлять и объединением балок комбинированными каркасами и высокопрочными затяжками (рисунок 4.23).

Для этого по нижней поверхности ребер балок наклеивают арматуру (швеллер), а под полками на боковые поверхности ребер смежных балок – стальные полосы, объединяемые высокопрочными болтами. Полосы со швеллерами соединяются наклонными тягами. Омоноличивание можно производить только нижней части балок. При таком усилении можно увеличить изгибающий момент до 50% и поперечную силу до 30-40%. При этом не прерывается движение транспортных средств на время выполнения работ.

Увеличение несущей способности однопролетных балок в ряде случаев может быть достигнуто превращением их в многопролетные способом устройства промежуточных дополнительных опор (рисунок 4.24).

Схемы усиления:

А) комбинированным каркасом;



Б) Высокопрочными затяжками.

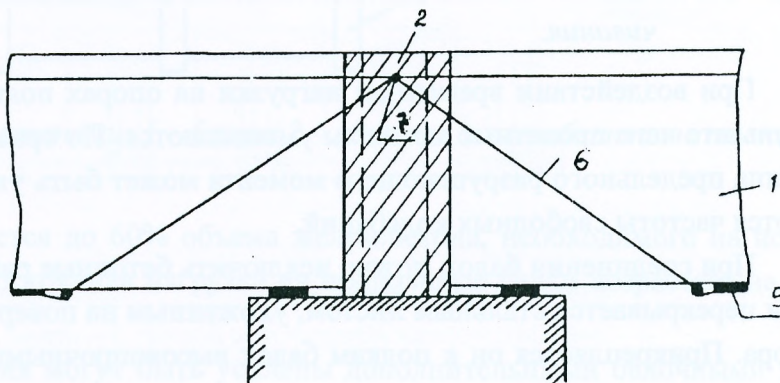
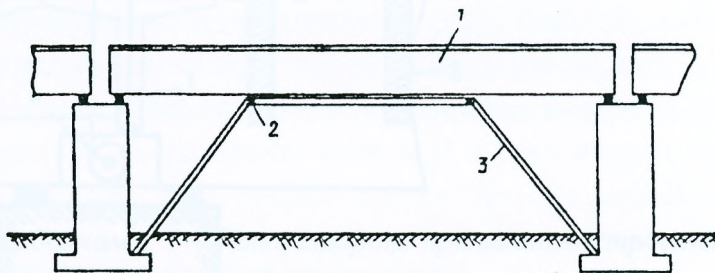


Рисунок 4.23 Усиление объединением балок: 1 – балки; 2 – бетон омоноличивания; 3 – стальная полоса; 4 – наклонные тяги; 5 – высокопрочная дополнительная арматура (швеллер).

А) рамная опорная система;



Б) арочная опорная система.

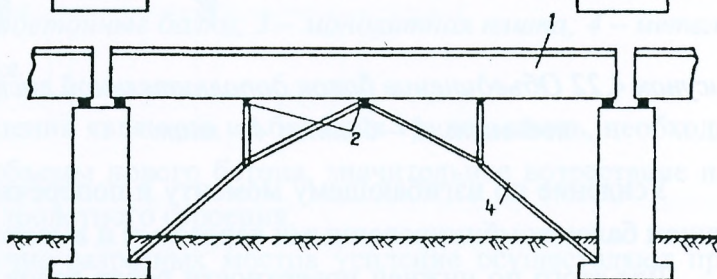


Рисунок 4.24 Усиление балок при помощи устройства промежуточных опор: 1 – балка; 2 – поперечные балки; 3 – рама (раскосы); 4 – арка.

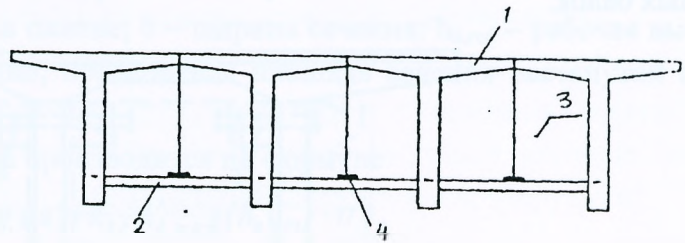
Выбор типа опорной системы зависит от величины пространства под мостом. Но в любом случае продольные несущие элементы опирают на поперечные балки, соединенные с поддерживающими конструкциями. Поддерживающие рамы могут опираться как на самостоятельные фундаменты, так и на фундаменты существующего сооружения.

4.5 Способы усиления диафрагм

В случае ослабления или разрушения поперечных связей (накладок по диафрагмам, продольных швов) для восстановления поперечной жесткости сооружения можно использовать принцип усиления при помощи преднапряженной арматуры. Для этого в ребрах балок вдоль диафрагм с двух сторон просверливают отверстия, через которые пропускается высокопрочная проволока. Ее натяжение создается путем взаимного стягивания обеих ветвей стяжными болтами по горизонтали либо оттяжкой их в вертикальном направлении (рисунок 4.25).

Схемы преднапряжения:

А) с преднапряжением на концах;



Б) с преднапряжениями вертикальными затяжками.

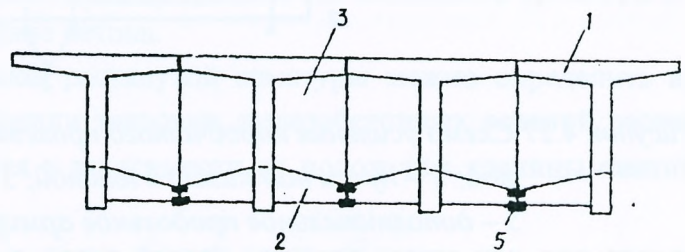


Рисунок 4.25 Усиление диафрагм гибкими полосами: 1 – балка; 2 – преднапряженная арматура; 3 – диафрагма; 4 – горизонтальная затяжка; 5 – вертикальная затяжка.

Иногда используют для создания преднапряжения в диафрагмах и гибкие тросы (рисунок 4.26).

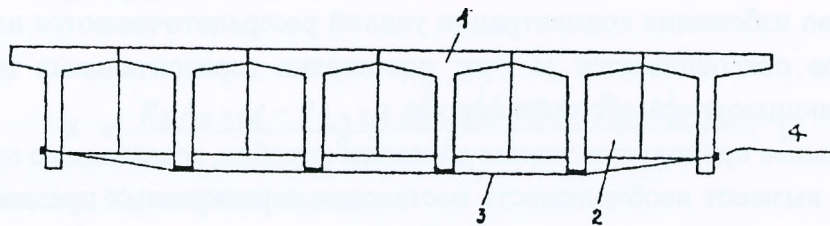


Рисунок 4.26 Усиление диафрагм гибкими тросами: 1 – балка; 2 – диафрагма; 3 – высокопрочная арматура (гибкие тросы); 4 – затяжка.

Если возможно, усиление также производится восстановлением работы существующих стыков диафрагм или устройством новых.

4.6 Способы усиления коробчатых пролетных строений

Необходимость усиления пролетных строений коробчатого типа может быть вызвана рядом причин: потерей предварительного напряжения, превышающей расчетное значение, возникновением и развитием трещин в бетоне, изменением постоянной или временной нагрузки в процессе эксплуатации и т.п.

Усиление таких конструкций осуществляют, как правило, постановкой дополнительной предварительно напряженной рабочей арматуры. При этом предпочтение отдается полигональному расположению пучков, так как в этом случае усиление происходит как на действие изгибающего момента, так и поперечной силы (рисунок 4.27).

Анкеровка дополнительной предварительно напряженной арматуры может осуществляться на специальных упорах, прикрепленных к стенкам пролетного строения, либо на специально устроенных поперечных балках (диафрагмах). Во избежание перерывов в движении транспортных средств упоры, поперечные балки, диафрагмы размещают в полости продольных балок.

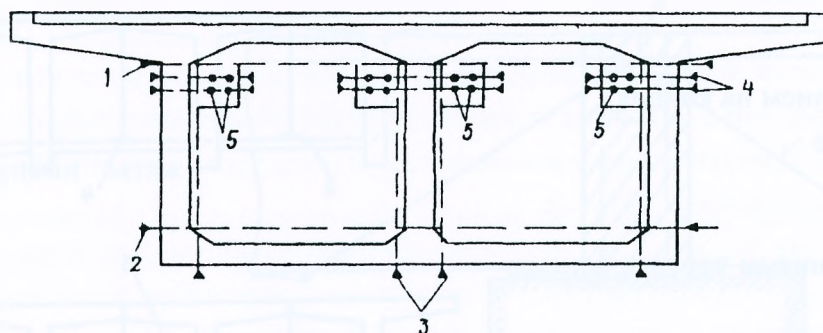


Рисунок 4.27 Схема усиления коробчатого пролетного строения: 1 – пучки под верхней плитой; 2 – пучки над нижней плитой; 3 – вертикальные пучки; 4 – анкеровка; 5 – дополнительное продольное армирование.

Как видно из схемы усиления, предусмотрена постановка продольных напряженных пучков над нижней плитой центральной части коробки и четырех групп продольных пучков в зоне верхней плиты коробки на участках, прилегающих к опорам. Пучки располагаются на внутренних плоскостях наружных стенок и на обеих плоскостях средней стенки.

При обжатии коробов анкеры пучков размещаются в прибетонированных к стенкам упорах, которые во избежание концентрации усилий рассредоточиваются по длине пролета. Прочность упоров обеспечивается за счет постановки горизонтальных преднапрягаемых стержней, обжимающих упоры и стенки короба.

Дополнительные продольные усилия в стенках коробов, создаваемые преднапряженной арматурой, часто вызывают необходимость постановки вертикальных преднапрягаемых и горизонтальных стержней в поперечном направлении.

Все работы по усилению моста могут быть выполнены без перерыва движения.

4.7 Особенности расчета усиленных железобетонных элементов

4.7.1 По схемам усиления наращиваем высоты

Расчет железобетонных изгибаемых элементов, усиленных наращиванием, выполняется как для монолитных.

При наличии двойной арматуры нормальные сечения изгибаемого элемента можно рассчитывать в зависимости от соотношения фактической величины относительной высоты сжатой зоны бетона и ее граничного значения ξ_R . При подсчете ξ_R принимается, что пре-

дельное состояние в конструкции достигается одновременно с достижением в растянутой арматуре расчетного сопротивления. Рабочая высота сечения принимается равной сумме расстояний от сжатой грани сечения до центра тяжести существующей растянутой арматуры h_0 и от центра тяжести существующей арматуры до центра тяжести усиления.

Относительная высота сжатой зоны определяется по формуле

$$\xi = \frac{R_s A_{s,red} - R_{sc} A'_{s,red}}{R_b \cdot b h_{0,red}}$$

где R_c и R_{sc} – соответственно расчетные сопротивления растяжению и сжатию арматуры; R_b – расчетное сопротивление бетона на сжатие; b – ширина сечения; $h_{0,red}$ – рабочая высота сечения; $A_{s,red}$ и $A'_{s,red}$ – соответственно, приведенная площадь сечения растянутой и сжатой арматуры.

Расчет прочности усиленного элемента производится по формуле

$$M \leq R_{b,red} b x (h_{0,red} - 0,5x) + R_{sc} A'_{s,red} (h_{0,red} - a')$$

где x – высота сжатой зоны; a' – расстояние от центра тяжести сжимаемой арматуры до верха сечения; $R_{b,red}$ – расчетное сопротивление бетона.

Необходимую площадь дополнительной растянутой арматуры можно определить из совместного решения уравнений. При усилении тавровых железобетонных сечений расчет при соблюдении условия $\xi \leq \xi_R$ производится в зависимости от положения границы сжатой зоны.

При расположении нейтральной оси в полке расчет осуществляется как для прямоугольного элемента шириной, равной ширине полки. При расположении нейтральной оси в ребре расчет прочности производят по формуле

$$M \leq R_{b,red} b x (h_{0,red} - 0,5x) + R_{b,red} h'_f (b'_f - b) (h_{0,red} - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_{s,red} (h_{0,red} - a')$$

где

$$x = \frac{R_s A_{s,red} - R_{b,red} h'_f (b'_f - b) - R_{sc} A'_{s,red}}{R_{b,red} \cdot b};$$

h'_f – высота полки; b'_f – ширина полки.

4.7.2 По схемам усиления преднапряженными затяжками

При проектировании усиления железобетонных балок преднапряженными затяжками прежде всего необходимо выбрать тип самой затяжки (тип усиления). При этом главным образом руководствуются простотой и условиями применения того или иного типа усиления. Вместе с тем необходимо учитывать, что горизонтальные затяжки в большей степени, чем шпренгельные увеличивают несущую способность элементов на действие изгибающих моментов, шпренгельные и комбинированные – на действие поперечных сил. Кроме того, следует также учитывать величину действующих и возросших нагрузок, пролет балки и т.д.

После выбора схемы усиления расчет рекомендуется производить в следующей последовательности:

- определяются внутренние усилия в балке от действующих нагрузок;
 - определяются внутренние усилия в балке от дополнительной нагрузки;
 - ориентировочно, с учетом расчета по предыдущему пункту, определяется площадь поперечного сечения затяжки (шпренгеля) усиления;
 - определяется жесткость усиливаемого элемента;
 - находятся расчетные значения усилий во всех элементах усиленной конструкции от действия полной расчетной нагрузки;
 - находится величина предварительного напряжения в тросах;
 - проверяется усиленный элемент на действие возросших нагрузок после усиления.
- Рассмотрим, для примера, балку, усиленную шпренгельной затяжкой (рисунок 4.28).

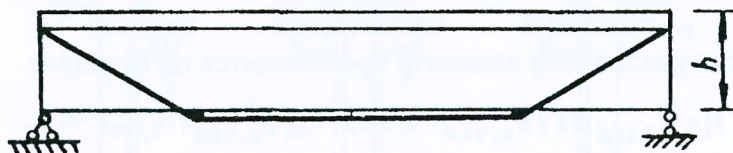


Рисунок 4.28 Конструктивная схема балки, усиленной шпренгельной затяжкой.

Расчетная схема такого сооружения может быть представлена в виде балки, работающей на внецентренное сжатие, и элементов шпренгеля, испытывающих центральное растяжение (рисунок 4.29).

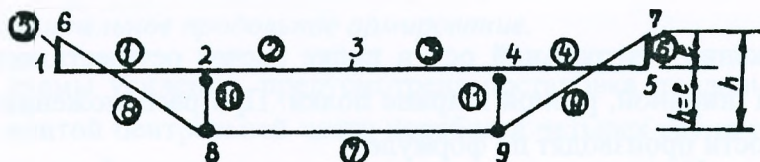


Рисунок 4.29 Расчетная схема балки: h – высота балки; e – эксцентриситет действия продольной силы.

Сооружение имеет 9 узлов и 11 элементов. Элементы 7, 8, 9, 10 и 11 работают только на растяжение (сжатие), остальные испытывают дополнительно изгиб.

Для каждого стержня конструкции в местной системе координат может быть построена матрица жесткости K_{r_i} , с помощью которой производятся линейные преобразования вектора перемещений u_i в вектор реакций связей K_{z_i} , возникающих в концевых сечениях элемента. Их построение в случае упругой работы производится обычными методами с использованием основных соотношений теории упругости.

Так как ориентация стержней в составе сооружения может быть различна, то необходимо вводить две системы осей координат: местную (локальную), связанную с осью стержня, и общую - для всей конструкции.

Взаимосвязь между векторами перемещений концов стержня и векторами усилий в общей и местной системах координат осуществляется формулами

$$\bar{u}_i = c_i u_i, \quad \bar{f}_i = c_i f_i,$$

где f_i и u_i - соответственно векторы усилий и перемещений узла элемента в местной системе осей координат; \bar{f}_i и \bar{u}_i - то же, в общей системе; c_i - матрица преобразования векторов при повороте системы осей координат.

Аналогично осуществляется преобразование матрицы жесткости и грузового вектора при переходе от местной к общей системе координат

$$\begin{aligned}\bar{K}^r &= (C^r)^T K^r C^r, \\ \bar{F}^r &= C^r F^r.\end{aligned}$$

При выполнении этого преобразования должны фиксироваться начало и конец каждого стержня, поскольку от этого зависит матрица преобразования C^T . С целью уменьшения объема вычислений эта нумерация должна быть такова, чтобы наибольшая разность номеров узлов начала и конца каждого из стержней системы была бы минимальной. Это позволит получить матрицу жесткости K с наименьшей шириной ленты.

Построение матрицы жесткости всего усиливаемого элемента K и грузового вектора F осуществляется поэлементным суммированием матриц жесткости и грузовых векторов для входящих в систему стержней в соответствии с топологической структурой конструкции

$$K_{ij} = \sum_{r \in i,j} K_{ij}^r.$$

Формально эта операция может быть представлена в виде

$$K = \sum_{i=1}^n B_i^T K B_i, \quad \bar{F} = \sum_{i=1}^n B_i^T \bar{F}_i,$$

где n – общее количество стержней, входящих в систему; B_i – матрица преобразования узловых перемещений u системы в концевые перемещения i -го стержня.

Учет опорных связей может быть выполнен с помощью операции вычеркивания. Суть ее состоит в этом, что для получения перемещения $u_j=0$ в матрице K системы обнуляют j -й столбец и j -ю строку, а на место элемента K_{jj} посылают единицу.

Искомые перемещения находятся из системы разрешающих уравнений равновесия

$$K \bar{U} + F = 0.$$

Откуда вычисляется вектор перемещений

$$\bar{U} = -K^{-1} F.$$

Затем определяются перемещения концов i -го стержня в общей и местной системах осей координат и подсчитываются усилия в отдельных стержнях

$$\bar{f}^r = K^r U^r.$$

По найденным значениям \bar{f}^T строятся эпюры изгибающих моментов, продольных и поперечных сил, которые имеют место в усиливаемом элементе.

4.7.3 По схемам усиления введем дополнительную арматуры с прибетонированием плит

Для расчета принимается стержневая модель, представляющая собой систему перекрестных балок. Продольные балки имеют такие же характеристики, как и у реальной конструкции. Плита заменяется поперечными балками, параметры которых выбираются исходя из равенства энергий деформации плиты и заменяющего ее стержня. Каждая балка по длине разбивается на несколько элементов. Конечные элементы продольного и поперечного направле-

ний соединяются жесткими узлами в местах их пересечения. Таким образом, сооружение аппроксимируется элементами, имеющими по шесть степеней свободы каждый и отличающимися только жесткостными характеристиками.

Аналогично может быть представлена расчетная модель моста, несущими конструкциями которого являются пустотные плиты.

Если рассчитываемая система слишком громоздка, например, усиливаются коробчатые системы, то иногда оказывается удобным вести расчет с расчленением всей системы на подсистемы (суперэлементы).

Расчет такой системы можно выполнить и обычным способом, т.е. нанести необходимую сетку и произвести расчет всей системы целиком. Однако большое количество расчетных узлов, элементов, неизвестных перемещений может сильно затруднить решение. Используя суперэлементы, можно провести расчет поэтапно, существенно снизив на каждом этапе размерность задачи. Сначала строится матрица жесткости для всех типов суперэлементов, затем производится расчет системы, состоящей из суперэлементов, из которого находят-ся перемещения узлов, принятых за опорные. На заключительном этапе рассчитывается каждый суперэлемент на найденные из предыдущего расчета перемещения узлов.

Последовательность расчета системы, состоящей из суперэлементов, остается без изменения, различие состоит лишь в том, что матрица жесткости и узловые нагрузки определяются в результате предварительного расчета. Так как суперэлементы, как правило, представляют достаточно сложную систему, то построение матрицы аппроксимирующих функций осуществляется при помощи численного расчета суперэлемента на единичные смещения суперузлов. В результате этого расчета находится матрица влияния, связывающая перемещения внутренних узлов суперэлемента с единичными перемещениями суперузлов.

5 Усиление стыков составных конструкций и методы их расчетов

5.1 Усиление стыков составных конструкций

Наиболее распространенным способом усиления стыков является установка металлических или полимерных шпонок (рисунок 5.1).

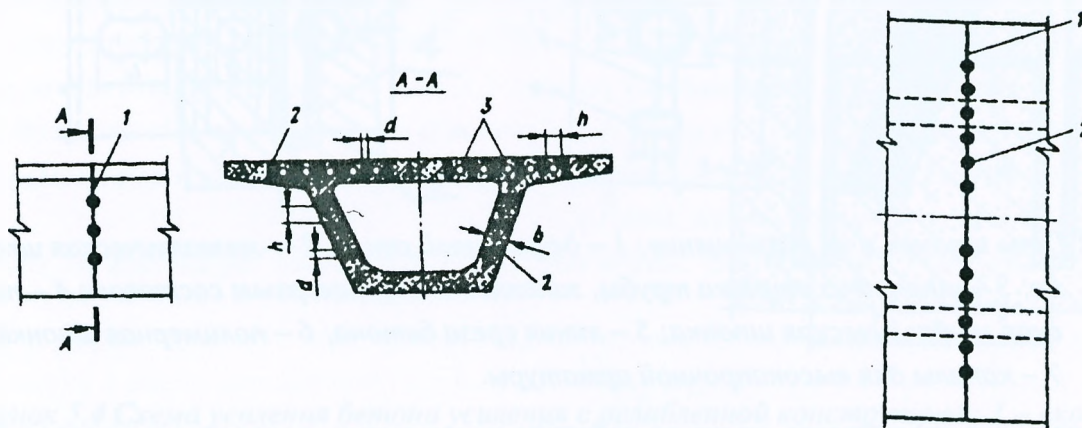


Рисунок 5.1 Конструкция усиления стыков установкой шпонок: 1 -- дефектный стык; 2 – шпонка (металлическая или полимерная); 3 – каналы для предварительно напряженной арматуры.

В зависимости от усилия, которое необходимо передать шпонками, а также от температуры окружающего воздуха рекомендуется для усиления использовать:

- круглые металлические шпонки, которые клеивают непосредственно в просверленные отверстия, для усиления стыков, работающих на поперечные и нормальные усилия, как при отрицательных, так и при положительных температурах;
- шпонки из отрезка трубы, отверстие которой заранее заполнено эпоксидным клеем, полимерным или обычным бетоном;
- плоские металлические шпонки, если круглые шпонки диаметром 60-80 мм не размещаются по периметру стыка стенки.

Плоские металлические шпонки рационально применять при положительных температурах воздуха; шпонки из полимербетона (клея) для усиления стыков верхней или нижней плит, которые применяют только при положительных температурах воздуха. При этом если несущая способность стыка на действие поперечной силы недостаточна, то устанавливают металлические или полимерные шпонки только в ребрах балок.

Если же в стыке имеются неплотности, непроклей, трещины или зазоры, но несущую способность стыка можно восстановить, то сверлят отверстия под шпонки, через которые в трещины и зазоры вводят эпоксидный клей. В этом случае шпонки устанавливают конструктивно через 50-100 см по периметру стыка.

Усиление стыка верхней или нижней плиты конструкции путем установки шпонок, работающих на нормальные усилия, производят в местах расположения каналов высокопрочной арматуры, так как в этих местах стыка очень сложно восстановить его несущую способность путем введения в зазоры (трещины) эпоксидного клея.

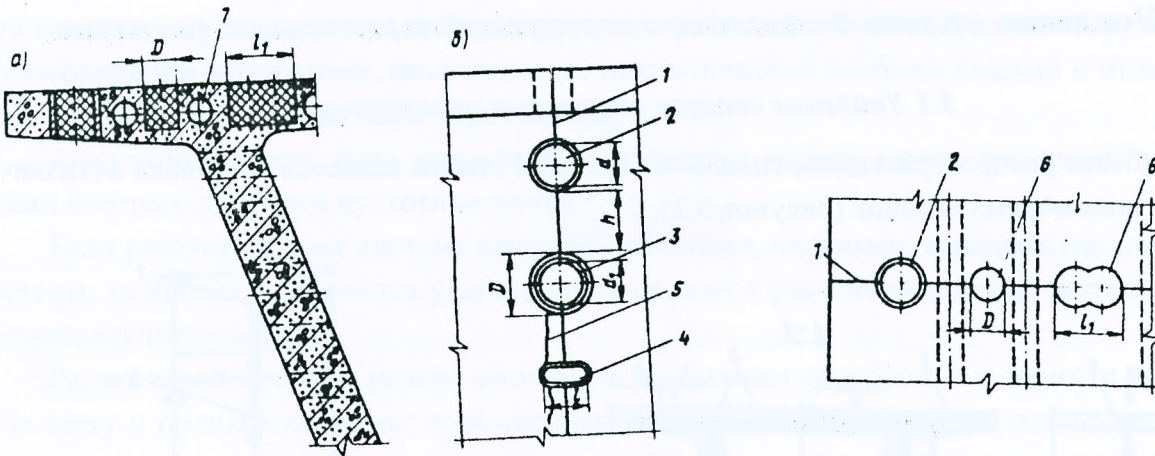
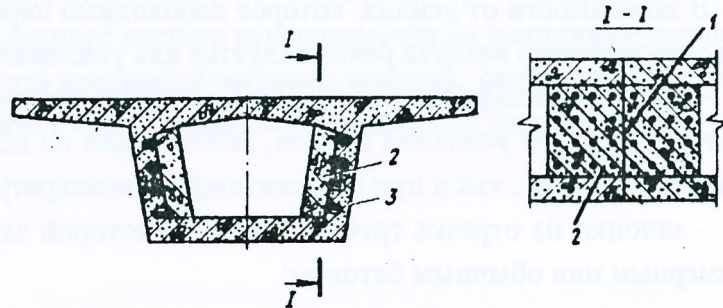


Рисунок 5.2 Типы шпонок и их размещение: 1 – дефектный стык; 2 – металлическая шпонка; 3 – шпонка из отрезка трубы, заполненной полимерным составом; 4 – плоская металлическая шпонка; 5 – линия среза бетона; 6 – полимерная шпонка; 7 – каналы для высокопрочной арматуры.

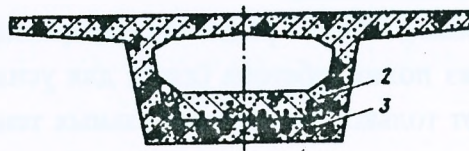
Если несущая способность стыка на действие нормальных, поперечных, главных сжимающих (растягивающих) усилий недостаточна или отдельные элементы конструкции имеют крупные дефекты в виде многочисленных трещин, сколов и т.д., то бетонируют дополнительные элементы (ребра, плиты), объединенные с основной конструкцией (рисунок 5.3)

Элемент усиления:

а) ребро балки;



б) нижняя плита;



в) верхняя плита.

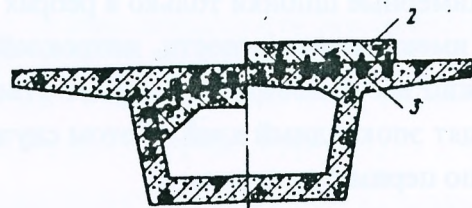


Рисунок 5.3 Схемы усиления дефектных стыков бетонированием дополнительных элементов: 1 – дефектный стык; 2 – бетон усиления; 3 – скважина с вклеенным штырем.

Как видно из схем для усиления связи бетона усиления с ослабленной конструкцией применяют обычные штыри или скобы (рисунок 5.4).

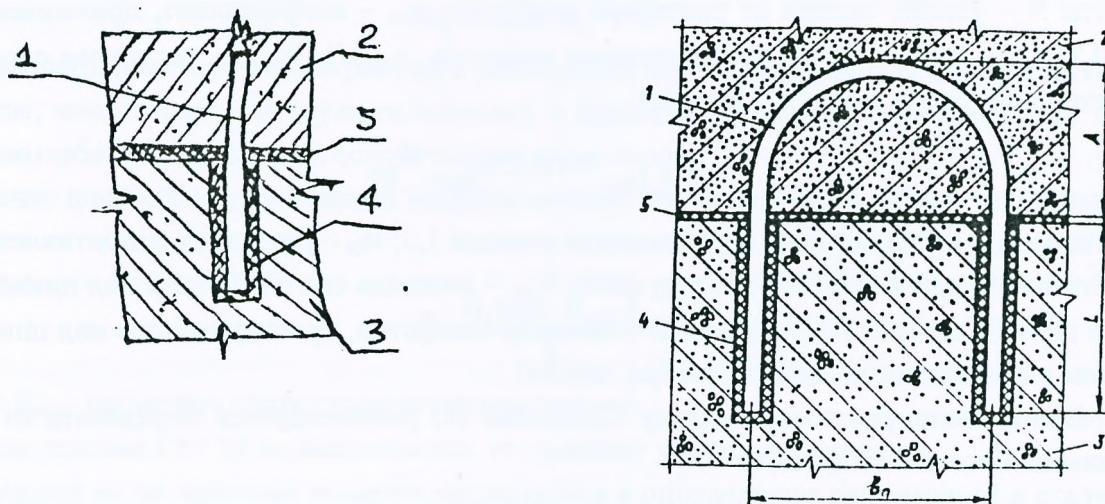


Рисунок 5.4 Схема усиления бетона усиления с ослабленной конструкцией: 1 – скоба (штырь); 2 – бетон усиления; 3 – ослабленный бетон конструкции; 4 – скважина, заполненная клеем; 5 – клеевая обмазка.

При этом дополнительный элемент должен перекрывать ослабленный стык не менее чем на 1,5 м в обе стороны от стыка. При усилении нижней плиты коробчатой балки рекомендуется бетон усиления выполнять с вутами до 1/3 высоты ребер.

Глубину скважин для штырей и расстояние между штырями рекомендуется назначать не менее 10 диаметров штырей. Штыри следует располагать таким образом, чтобы расстояние от крайнего ряда штырей до грани железобетонного элемента было равно не менее чем 10 диаметрам штыря.

Диаметр скважин для штырей должен превышать в 1,2-2 раза диаметр штырей.

Штыри изгибают в виде скобы, вклеиваемой обоими концами в соседние скважины. Скобу необходимо заглублять в бетон усиления на расстояние A , равное не менее чем 7 диаметрам штыря и не менее 12 см. Ширину скобы b_n определяют расчетом.

5.2 Расчеты конструкций усиления стыков

Усиленные стыки рассчитываются на несущую способность (сдвигающее усилие) как в стадии реконструкции, так и в эксплуатации, по формуле:

$$Q \leq m_{sh} \mu_f N_d,$$

где Q - наибольшее сдвигающее усилие в плоскости стыка; m_{sh} - коэффициент условий работы стыкового шва при сдвиге; μ_f - коэффициент трения в стыковом шве; N_d - расчетное усилие, обжимающее плоскость шва.

5.2.1 Особенности расчета шпоночных соединений

Усилие, приходящееся на круглую шпонку, следует определять из условия смятия бетона под шпонкой и самой шпонки:

$$N \leq \varphi_{loc} R_{b,loc} A_{loc}$$

где N – усилие смятия от расчетной нагрузки; φ_{loc} – коэффициент, принимаемый равным 0,75 (при равномерном распределении нагрузки $\varphi_{loc}=1$); $R_{b,loc}$ – расчетное сопротивление бетона местному сжатию (смятию).

$$R_{b,loc} = 13,5 \varphi_{loc1} R_{bt}$$

где φ_{loc1} – коэффициент, принимаемый равным 1,5; R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению для бетонных конструкций; A_{loc} – площадь смятия бетона под шпонкой (при работе шпонки на срез $A_{loc}=\pi Db/4$); D – диаметр отверстия, просверленного под шпонку; b – толщина усиливаемого элемента (ребра, плиты).

Минимальное расстояние между шпонками (h) рекомендуется определять из условия скалывания бетона между ними

$$h = \frac{N}{6 R_{b,cut}}$$

где $R_{b,cut}$ – расчетное сопротивление бетона срезу.

Сопротивление бетона непосредственному срезу можно принять $R_{b,cut} = 0,16 R_b$.

В расчетах предварительно напряженных конструкций при обжатии стыка напряжением σ_{by} к расчетным сопротивлениям бетона осевому сжатию R_b и непосредственному срезу $R_{b,cut}$ следует вводить коэффициент условий работы m_{bb} :

а) для R_b

$$m_{bb} = 1,1 \text{ при } 0,1 R_b \leq \sigma_{by} \leq 0,2 R_b;$$

$$m_{bb} = 1,2 \text{ при } \sigma_{by} = 0,6 R_b;$$

б) для $R_{b,cut}$

$$m_{bb} = 1 + 1,5 \sigma_{by} / R_{b,sh} \text{ при } \sigma_{by} \leq 0,98 \text{ МПа};$$

$$m_{bb} = 1 + \sigma_{by} / R_{b,sh} \text{ при } \sigma_{by} = 2,94 \text{ МПа}.$$

Усилия, действующие в самой шпонке, определяют из условия смятия бетона под шпонкой.

Металлические круглые шпонки на прочность не проверяют.

В шпонках, выполненных из отрезка трубы, отверстие которой заполнено полимерным или обычным бетоном, проверяют на прочность при сжатии бетон заполнения:

$$R_b \geq \frac{N}{d_1 b}$$

где d_1 – внутренний диаметр отрезка трубы.

Усилие, приходящееся на плоскую металлическую шпонку, определяют из условия смятия бетона под шпонкой по формуле

$$N_1 = 0,945 \cdot R_b \cdot l \cdot b,$$

где l – ширина шпонки (упора).

Усилие, необходимое для смятия бетона или полимербетона под упором, определяют по формуле

$$N_2 = 0,80 \cdot R_b \cdot l \cdot b$$

Следовательно, прочность раствора заполнения или полимербетона должна быть в 1,2 раза выше, чем бетона конструкции, поэтому в качестве заполнения целесообразно применять полимербетон или клей на основе эпоксидных смол.

Расчет плоской металлической шпонки на срез заключается в подборе толщины листа (δ).

$$\delta = \frac{0,945 \cdot R_{np} \cdot l^2}{R_{sc}}$$

где R_{sc} – расчетное сопротивление стали сжатию.

Если условие $l/\delta < 16$ не выполняется, то толщину упора увеличивают.

А расчет ее на действие момента заключается в определении напряжений в стали, возникающих в месте заземления (заделки шпонки), и сравнении их с расчетными сопротивлениями стали:

$$\frac{M}{W} \leq R_{cm}$$

где M – момент, возникающий в месте заделки шпонки и

$$M = \frac{1,89}{2} R_b b \frac{l^2}{14,9};$$

$$W = \frac{b \delta^2}{8}.$$

W – момент сопротивления шпонки и

Усилие, приходящееся на шпонку, при расчете конструкции усиления на нормальные силы определяют из условия смятия бетона под шпонкой и самой шпонки по формуле

$$N' = \varphi_{loc} A'_{loc} R_{b,loc}$$

где N' – усилие смятия от действия расчетной нагрузки; A'_{loc} – площадь смятия бетона под шпонкой.

При работе шпонки на нормальные силы A'_{loc} определяется по формуле

$$A'_{loc} = \frac{\pi D}{2} b.$$

5.2.2 Особенности расчета дополнительных элементов усиления

При устройстве усиления бетонированием дополнительного элемента его размеры назначают расчетом по действующим нормативным документам. Долю усилий, приходящуюся на дополнительный элемент, определяют в каждом конкретном случае с учетом фактического ослабления конструкции. Дополнительный элемент должен быть надежно связан с основной конструкцией клеештыревым стыком.

При этом клеештыревой стык должен быть рассчитан по первому предельному состоянию на прочность и d_{nhjve} предельному состоянию на трещиностойкость.

Прочность клеештыревого стыка при действия сдвигающих усилий должна обеспечиваться адгезионными силами, действующими на участке стыка, не подверженном растяжению:

$$F_h \leq \sum_{i=1}^m R_{b,cut} A'_{bi}$$

где A'_{bi} – часть площади стыка со средними нормальными (к стыку) напряжениями сжатия.

Расчетное сопротивление $R_{b,cut}$ принимают с учетом обжатия стыка напряжениями, нормальными к нему, вводя коэффициент условий работы m_{b6} .

Глубину вклеивания штырей (L) и ширину скобы (b_n) определяют по формулам:

$$L \geq \frac{d^2 \sigma_{si}}{4D \tau_{gu} K_{gv} m_{g2}},$$

где d – диаметр штыря; D – диаметр цилиндра, по поверхности которого возможно скалывание при выдергивании штыря из бетона; τ_{gu} , K_{gv} – соответственно среднее значение и коэффициент однородности предельных скалывающих напряжений, воспринимаемых слоем клея; m_{g2} – коэффициент условий работы, зависящий от состава клея и глубины вклеивания штыря.

$$b_n \geq 0,57 \frac{R_s A_{sl}}{R_b d}.$$

Расчет клеештыревого стыка по второму предельному состоянию на трещиностойкость выполняют по формуле

$$a_{cr} = (m_{g1} q_g + q_b) \frac{G_s}{300} \leq \Delta_{cr},$$

где a_{cr} – величина раскрытия отдельных трещин, см; G_s – напряжение в крайнем ряде штырей от нормативных нагрузок, МПа; Δ_{cr} – наибольшее раскрытие трещин.

Что касается материалов усиления, то нужно помнить следующее:

- для изготовления штырей и для армирования бетона усиления используют арматурную сталь диаметром 12-25 мм классов А-II и А-III;
- в конструкции усиления следует применять бетон классов по прочности при сжатии не ниже В30;
- для металлических шпонок рекомендуется применять сталь марок ВМССт.3сп и ВКСт.3сп.
- для шпонок, выполненных из отрезка трубы отверстие которой заполняется бетоном или полимербетоном, рекомендуется применять стальные трубы;
- для вклеивания шпонок и штырей рекомендуется применять эпоксидный клей.

5.3 Технология устройства конструкций усиления

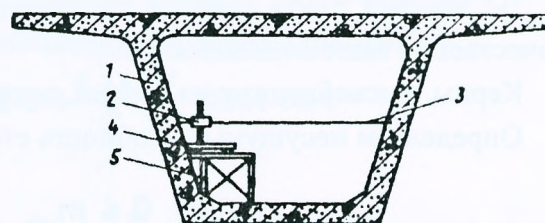
При устройстве конструкций усиления стыков рекомендуется придерживаться такой последовательности:

- сверлят отверстия под шпонки;
- очищают отверстия от крошки;
- герметизируют стык – наносят по всему периметру стыка (кроме отверстий под шпонки) два-три слоя эпоксидного клея полосой 5-10 см;
- после полимеризации клея заливают в отверстия для шпонок эпоксидный клей без наполнителя;
- после заполнения в отверстие вставляется металлическая шпонка.

Шпонку вставляют с некоторым усилием, необходимым для выдавливания излишков клея из отверстия. Сверление отверстий осуществляют с помощью сверлильных станков (рисунок 5.5).

Способ сверления:

А) сверление с подмостей;



Б) сверление с помощью штанги-удлинителя.

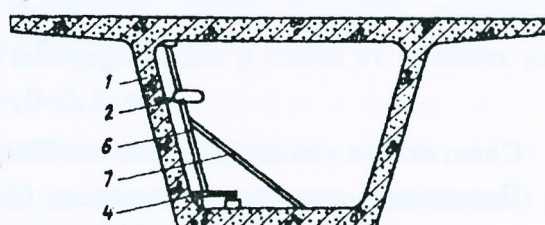


Рисунок 5.5 Схема сверления отверстий: 1 – ребро; 2 – сверлильный станок; 3 – распорная штанга; 4 – станина станка; 5 – подмости; 6 – штанга-удлинитель; 7 – лестница.

Усиление стыков бетонированием дополнительных железобетонных элементов включает:

- сверление отверстий в бетоне ослабленной конструкции на глубину, определенную расчетом;
- продувку сжатым воздухом и грунтование высверленных отверстий;
- заполнение отверстий эпоксидным клеем;
- установку штырей в отверстия;
- выдержку на время отвердения клея в отверстиях;
- установку арматуры и опалубки бетона усиления;
- смазку поверхности бетона ослабленной конструкции, контактирующей с бетоном усиления, эпоксидным клеем (допускается выполнять усиление без этой операции);

— укладку бетона усиления (эту операцию следует осуществлять в период между технологической и адгезионной жизнеспособностью клея на поверхности ослабленной конструкции);

— разборку опалубки бетона усиления.

Качество выполнения работ контролируют как визуально, так и при испытании контрольных образцов, а также осмотром и испытанием кернов, высверленных в месте стыка.

5.4 Конструирование и расчет стыка, усиленного шпонками

Рассмотрим эти проблемы для железобетонной предварительно напряженной балки пролетного строения длиной 63 м, имеющей дефектный клееный стык. Балка коробчатого сечения; высота – 3,2 м; толщина стенок – 0,3 м, нижней плиты – 0,4 м, верхней – 0,25 м. Класс бетона пролетного строения В40, поперечная сила в стыке 5 МН, обжатие (от пучков) в верхней плите 10 МПа, в нижней – 2 МПа.

По верхней плите имеется раскрытие стыка (неплотности) до 2 мм, в стыке стенки – некачественно выполненный клей.

Керны, высверленные из стенки, показали при испытании на срез прочность 1,6 МПа.

Определяем несущую способность стыка по поперечной силе по формуле

$$Q \leq m_{sh} \mu_f N_d,$$

где

$$\begin{aligned} m_{sh} &= 1,0, \\ \mu_f &= 0,47, \\ Q &= 1,0 \cdot 0,47 \cdot \frac{(10+2)}{2} \cdot 3,2 \cdot 0,3 = 2,69 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Сдвигающее усилие, которое необходимо передать шпонками, $Q_{ш} = 5,00 - 2,69 = 2,31$ МН.

Принимаем шпонки диаметром 60 мм. Усилие, приходящееся на одну шпонку, определяем по формуле:

$$N = \frac{D}{2} \beta R_{\beta,loc};$$

$$\begin{aligned} R_{\beta,loc} &= 13,5 \psi_{loc}, R_{\beta,t} = 13,5 \cdot 1,5 \cdot 1,25 = 30 \text{ МПа}; \\ N &= \frac{0,06}{2} \cdot 0,3 \cdot 30 = 0,27 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Количество шпонок, которые необходимо установить в стыке,

$$n = \frac{2,31}{0,27} \approx 8.$$

Минимальное расстояние между шпонками определяем по формуле:

$$h = \frac{N}{\beta R_{\beta,cut}} = \frac{0,27}{0,3 \cdot 5,94} = 0,15 \text{ м}$$

Определим расчетное усилие скалывания:

$$R_{\beta,cut} = 0,1 \cdot 20 \cdot 1,12 \cdot \left(1 + \frac{6}{3,6}\right) = 5,97 \text{ МПа}.$$

На каждой стенке устанавливаем по четыре шпонки. Верхнюю и нижнюю шпонки устанавливаем на расстоянии 30 см от поверхности плит (минимальное расстояние от поверхности плит, где можно просверлить отверстие под шпонку сверлильным станком).

Для определения расстояния между шпонками из значения высоты балки вычитаем значение толщины плит и минимальные расстояния от поверхности плит до крайних шпонок:

$$h = 320 - 25 - 40 - 2 \cdot 30 = 195 \text{ см}; \quad h = \frac{195}{3} = 65 \text{ см}.$$

Оптимальное расстояние между шпонками 65 см. Несущую способность стыка верхней плиты восстанавливаем путем заполнения зазора эпоксидным клеем, а в местах расположения каналов устраиваем полимерные шпонки:

Так как в верхней плите имеем каналы диаметром 90 мм, расположенные на расстоянии 120 мм друг от друга, то определяем длину (зоны передачи усилия $l = 12 \cdot 2 = 120$ см).

Площадь зоны передачи усилия за вычетом площади ослабления каналами

$$F_{\text{б.пл}} = 120 \cdot 25 - 2 \cdot 5 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 120 \cdot 25 - 2 \cdot 5 \cdot \frac{3,14 \cdot 9^2}{4} = 2364 \text{ см}^2 = 0,236 \text{ м}^2.$$

Усилие, приходящееся на эту зону,

$$N' = \sigma_{\text{вч}} F_{\text{б.пл}} = 10 \cdot 0,236 = 2,36 \text{ МН}.$$

При количестве каналов, равном 10, можно установить между каналами минимально восемь шпонок, максимально двенадцать (по две шпонки справа и слева от крайних каналов).

При установке восьми шпонок $N' = 2,36 / 8 = 0,3$ МН.

В случае установки шпонок диаметром 60 мм (по аналогии со шпонками стенки) усилие, приходящееся на шпонку, определяем по формуле: $N' = 0,06 \cdot 0,25 \cdot 30 = 0,45$ МН.

Следовательно, принимаем восемь шпонок диаметром 60 мм, выполненных из эпоксидного клея (полимербетона).

Металлические шпонки на прочность не проверяем

Полимербетонные шпонки тоже не проверяем на прочность, так как при расчете шпонки на смятие $R_{\text{б,loc}} = 30$ МПа, что значительно меньше расчетного усилия полимербетона.

5.5 Расчет клеештыревого стыка между бетоном ослабленной конструкции и бетоном усиления

Рассмотрим усиление клееного стыка составного по длине пролетного строения железобетонного моста. Клееный стык в зоне нижней плиты имеет неплотности, не поддающиеся инъектированию, площадью до 50% площади нижней плиты. Бетон усиления класса В50 соединен с бетоном ослабленной конструкции штырями, вклеенными в бетон ослабленной конструкции; соприкасающиеся поверхности склеены (рисунок 5.6).

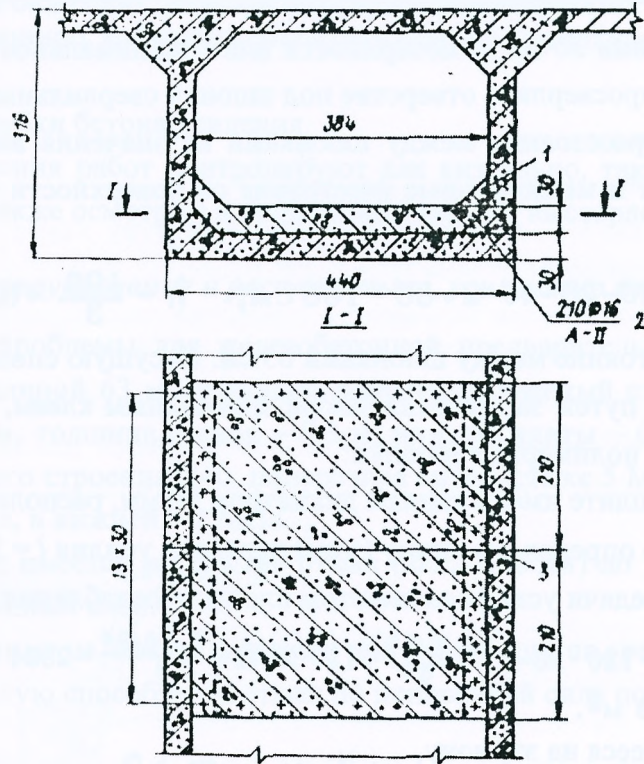


Рисунок 5.6 Схема усиления нижней плиты балки составного по длине пролетного строения в зоне дефектного стыка: 1 – бетон усиления; 2 – штыри диаметром 16 мм из арматурной стали кл.А-III; 3 – дефектный стык.

Нормативные и расчетные усилия, действующие в клеештыревом стыке, определяем методом сечений из условия равновесия отсеченной части бетона усиления (рисунок 5.7).

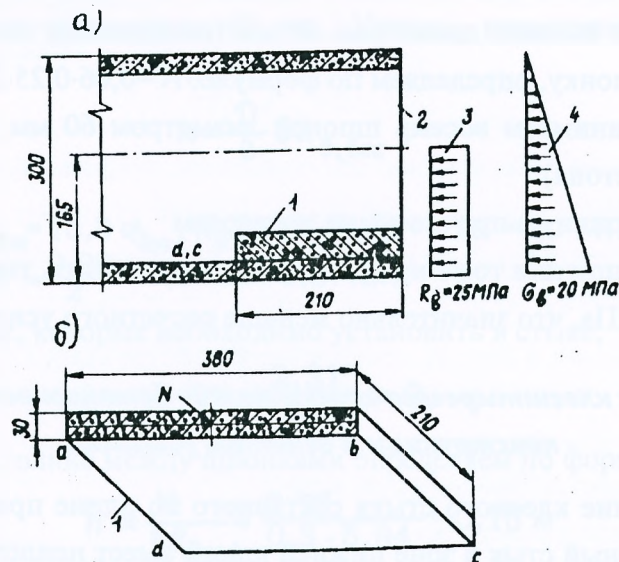


Рисунок 5.7 Схемы к определению усилий, действующих в клеештыревом стыке: а – усилия, действующие на отсеченную по дефектному стыку часть балки; б – усилия, действующие на отсеченную часть бетона усиления; 1 – бетон усиления; 2 – дефектный стык; 3, 4 – этюры нормальных напряжений в предельном со-

стоянии по прочности и упругой стадии работы; $abcd$ – плоскость части (половины) клеештыревого стыка.

Зная площадь ослабления стыка нижней плиты, бетон усиления будем рассчитывать на половину усилий, которые должна воспринимать нижняя плита балки в упругой стадии и предельном состоянии.

Нормативные усилия:

$$N_n = 0,5bh\sigma_g = 0,5 \cdot 4,4 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot (20 + 20 \cdot \frac{2,7}{3}) \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 12540 \text{ кН};$$

$$M_n = 12540 \cdot 0,15 = 1881 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетные усилия:

$$N_c = 0,5bhR_g = 0,5 \cdot 4,4 \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 16500 \text{ кН};$$

$$M_c = 16500 \cdot 0,15 = 2475 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

5.5.1 Расчет прочности на действие изгибающих усилий

Определим нормальные напряжения, действующие в плоскости клеештыревого стыка (плоскость $abcd$)

$$\sigma_g = \pm \frac{M_c}{W} = \pm \frac{2475}{3,8 \cdot 2,1^2} \cdot 6 \cdot 10^{-3} = \pm 0,9 \text{ МПа}.$$

Так как максимальные растягивающие напряжен и я не превышают расчетных ($R_{bt}=1,4$ МПа), то расчет стыка на действие изгибающего момента может быть на этом закончен.

5.5.2. Расчет прочности на действие сдвигающих усилий

На сдвигающие усилия сжатая часть клеештыревого стыка и сравнительно гибкие штыри работают в различной степени, поэтому в расчетах на сдвиг целесообразно учитывать (в запас прочности) только сжатую зону стыка.

$$F_n = N_c = 16500 > 0,1 \cdot 25 \left(1 + 1,5 \frac{0,5 \cdot 0,9}{4,15} \right) 3,8 \cdot 0,5 \cdot 2,1 \cdot 10^3 = 11597 \text{ кН}.$$

Так как вычисленная сдвигающая сила превышает реактивную, вызванную силами адгезии, нужно увеличить длину бетона усиления до 3 м в каждую сторону от стыка.

6 Усиление арочных и металлических пролетных строений

6.1 Усиление массивных арочных пролетных строений

Массивные арочные пролетные строения из бетонной или каменной кладки усиливают, разгружая своды от веса надсводных строений или возводя дополнительные железобетонные своды усиления (рисунок 6.1).

Надсводное строение может быть удалено частично или полностью и заменено железобетонным перекрытием, поддерживающим проезжую часть моста. Из эстетических соображений щековые стенки сводов обычно сохраняют. Конструкция перекрытия предпочтительна плитная с минимальной строительной высотой, чтобы не сильно изменять отметки проезда по мосту.

Разгружая своды от веса надводного строения, следует иметь в виду, что при этом уменьшаются, сжимающие напряжения в них и возрастают растягивающие от временной нагрузки. Поэтому такой способ усиления может оказаться нецелесообразным.

Дополнительные своды возводят из бетона или железобетона и размещают над существующими сводами или под ними, а также в виде арок, примыкающих к старому своду с обеих сторон. Соорудить свод над существующим несложно. Новый свод полностью включается в работу и разгружает старый. Но при этом способе усиления на время работ приходится закрывать движение или применять разгрузочные пакеты, что осложняет условия производства работ. Возможность устройства нового свода над старым определяется наличием достаточной высоты над замком старого свода.

Устроить новый свод под существующим можно не закрывая движения, но для этого нужно ввести ограничение скорости на короткое время (до трех суток) в начальный период твердения бетона. Сложный процесс при возведении нового свода под старым – бетонирование нового свода на всю ширину. Совместную работу старого и нового сводов обеспечивают анкеры, штрабы и т. п. В большинстве случаев для опирания нового свода приходится уширять опоры.

Способы усиления:

А) с частичным удалением надсводного строения;

Б) с полным удалением надсводного строения;

В) со сводом усиления по существующему своду;

Г) по своду усиления под существующим сводом;

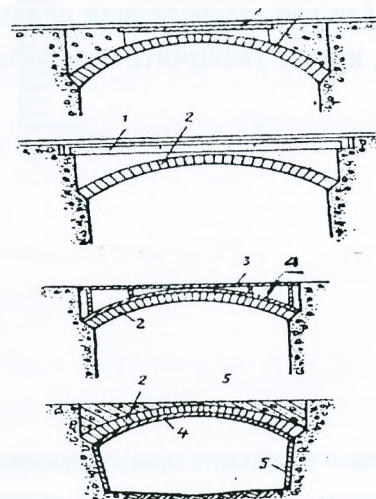


Рисунок 6.1 Усиление массивных сводов: 1 – железобетонное перекрытие; 2 – существующий свод; 3 – облегченное надсводное строение; 4 – свод усиления; 5 – уширенная часть опоры.

Качество бетонирования нового свода проверяют инъецированием цементно-песчаного раствора (1:1, 1:2) в зону контакта сводов через инъекторы, установленные с боков и снизу сводов мостов может быть увеличена как частичным, так и общим усилением пролетных строений.

6.2 Общие принципы усиления металлических пролетных строений

Как вам уже известно, грузоподъемность мостов может быть увеличена как частичным, так и полным усилением пролетных строений. При частичном усилении увеличивают площадь сечений отдельных элементов, уменьшают свободную длину сжатых стержней, добавляют заклепки в стыках, узловых прикреплениях и т. д. Недостаток частичного усиления – необходимость расклепки и выключение существующей конструкции в той или иной степени из работы на постоянную нагрузку, что увеличивает расход нового металла. Расклепка может повести за собой дополнительные работы по устройству разгружающих приспособлений, обеспечивающих лучшее использование как старого, так и нового металла, по смене отдельных деталей, рассверловке заклепочных отверстий и пр. В результате частичное усиление может оказаться дорогим и трудоемким, особенно когда нужно усилить большое число элементов пролетного строения.

Общее усиление осуществляется изменением расчетной схемы пролетных строений. В настоящее время находит применение усиление пучками из высокопрочной проволоки или тросами, натяжением которых удастся одновременно разгрузить большое число элементов конструкции.

Вопрос об усилении или замене пролетных строений решают на основании технико-экономического анализа. Значительное влияние на выбор варианта усиления или замены оказывает физическое состояние пролетных строений. В зависимости от конструкции пролетного строения, наличия слабых элементов в нем, степени повышения грузоподъемности при усилении и местных условий применяют различные виды усиления.

Существует несколько способов усиления металлических пролетных строений:

- увеличение поперечного сечения элементов с одновременным усилением (если необходимо) их прикреплений;
- устройство (установка) дополнительных ферм или балок;
- введение дополнительных элементов в систему пролетных строений;
- усиление с изменением системы ферм или балок путем подведения шпренгеля под балку, добавления третьего пояса (арки) к балочным фермам, превращения разрезных балок или ферм в неразрезные;
- устройство дополнительных опор – временных или постоянных, уменьшающих расчетный пролет существующих пролетных строений;
- превращение стального пролетного строения в сталежелезобетонное путем устройства железобетонной плиты, включенной в совместную работу.

Усилить отдельные элементы пролетного строения добавлением металла обычно нужно при любом способе.

Выносливость элементов клепаных пролетных строений можно повысить заменой в прикреплениях заклепок крайних рядов высокопрочными болтами. Замена наиболее нагру-

женных заклепок в двух-трех крайних рядах высокопрочными болтами значительно повышает усталостную долговечность прикрепляемого элемента и замедляет процесс расстрой-ства оставшихся в соединении заклепок.

Для эффективного использования вновь добавляемого металла, особенно высокопрочных сталей, и рационального распределения усилий в системе применяют предварительное напряжение с регулированием усилий и деформаций в конструкции. Регулируют усилия в элементах пролетных строений путем установки предварительно напряженных затяжек, разгрузки (догрузки) конструкций при усилении, изменения значений опорных реакций в неразрезных системах, закрепления элементов усиления в нагретом состоянии и др.

Метод усиления пролетных строений с использованием предварительно напряженных затяжек из высокопрочных сталей – наиболее рациональный. Предварительно напряженные затяжки позволяют почти полностью исключить расклепку узловых прикреплений, при этом усиление во многих случаях выполняют, не прерывая движения. При усилении обычно применяют соединения на высокопрочных болтах. Такие соединения обладают большей по сравнению с заклепочными соединениями жесткостью, что обеспечивает хорошую совместную работу старого и вновь добавляемого металла и повышает эффективность его использования, имеют более низкую концентрацию напряжений. Усилия в соединениях на высокопрочных болтах передаются только силами трения на поверхностях контактов скрепляемых элементов, вызванными затяжкой болтов. Поэтому болты в отверстиях можно устанавливать с зазором до 3 мм. Это дает возможность допускать несопадение отверстий в этих пределах, что облегчает подготовку и установку элементов усиления. Процесс установки высокопрочных болтов значительно проще клепки.

Заклепочные соединения применяют там, где установка высокопрочных болтов затруднена, а также в прикреплениях горизонтальных листов балок и главных ферм, на которые опираются мостовые брусья, так как головки болтов затрудняют плотное опирание брусьев.

Применение сварных соединений при усилении пролетных строений мостов осложняется тем, что трудно обеспечить достаточную надежность этих соединений: качество металла усиливаемых пролетных строений в большинстве случаев не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к металлу для сварных мостов; из-за специфики производства сварочных работ при усилении мостов применяется преимущественно ручная сварка, которая из-за трудности ее выполнения не обеспечивает требуемое качество сварных соединений; сложно осуществить наиболее совершенные типы сварных соединений (встык) и устранить в них опасные зоны концентрации напряжений.

При проектировании усиления нужно обращать особое внимание на стеснение движения по мосту в процессе его усиления и ограничение скоростей движения.

А сейчас давайте рассмотрим практику и особенности усиления пролетных строений в условиях Республики Беларусь:

1) Усиление стальных конструкций может быть выполнено на заклепочных, болтовых и сварных соединениях.

2) Наиболее часто применяют заклепочные соединения. Новые заклепки обычно ставят взамен старых, исправляя обнаруженные дефекты заклепочных отверстий (черноту, косину, овальность и пр.) рассверловкой на больший диаметр.

Для болтовых соединений применяют как чистые болты, так и высокопрочные (фрикционные). Чистые болты обтачивают по диаметру отверстия и ставят в местах, неудобных для постановки заклепок и фрикционных болтов. Фрикционные болты, обеспечивающие прочность и плотность соединений за счет трения между сплавляемыми элементами, имеют диаметр, меньший диаметра отверстия на 1-3 мм, что значительно упрощает их установку и позволяет в известных пределах допустить черноту и другие дефекты отверстий.

3) Сварные соединения применяют только в тех случаях, когда металл усиливаемых конструкций допускает сварку. Сварочное железо старых мостов, а также сталь с признаками повышенной хрупкости (усталости, наклепа и пр.) при наложении электрошвов трескается и в этих случаях сварка недопустима. При усилении трудно обеспечить и должное качество сварных соединений, так как сваривать приходится вручную. К недостаткам сварных соединений следует отнести также концентрацию напряжений у сварных швов и усадочные явления при остывании наплавляемого металла, способствующие появлению трещин в швах и соединяемых элементах.

С особой осторожностью следует применять сварные соединения в мостах, расположенных в северных районах. Отрицательные температуры (ниже -20°C) повышают возможность хрупкого разрушения основного и наплавленного металла и при несоблюдении соответствующих требований к качеству материалов и технологии сварочных работ электросварные соединения не будут обладать необходимой надежностью.

Не рекомендуется применять комбинированные рабочие соединения разной жесткости, например заклепочные совместно со сварными или фрикционными, так как более жесткие соединения (фрикционные, сварные) воспримут на себя большую долю усилия и будут работать с перенапряжением, что в расчетах учесть трудно.

4) Иногда применяется усиление стальных пролетных строений железобетоном. Этот способ широко применяют при реконструкции мостов, когда заменяют проезжую часть железобетонной. Значительно реже стальные конструкции заключают в бетон, превращая их в железобетонные с жесткой арматурой. Однако усиление железобетоном или бетоном значительно увеличивает постоянную нагрузку.

При этом усиление балочной клетки осуществляют либо дополнительными вертикальными связями (для продольных балок), распределяющей давление от временной нагрузки на большее число балок, либо шпренгелями (для поперечных балок) (рисунок 6.2).

Схемы усиления:

а) дополнительными вертикальными связями;

б) шпренгелями.

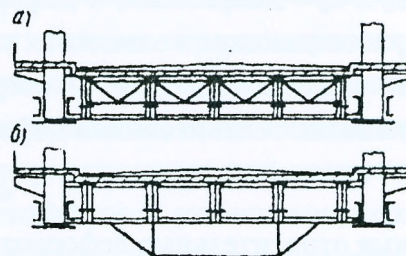


Рисунок 6.2 Схемы общего усиления балочной клетки.

А сейчас проанализируем особенности расчетов усиления. Расчет усиленных конструкций на нагрузки, прикладываемые после усиления, следует осуществлять при самых невыгодных сочетаниях этих нагрузок с начальными нагрузками и усилиями преднапряжения.

Иногда необходимо учитывать возможные осадки дополнительных опор, падения величины предварительного напряжения, снятия части начальной нагрузки и т.п.

При традиционном подходе к расчету обычной статически неопределимой системы усилия в элементах определяются в предположении ее работы, как упругой и линейно деформируемой. Однако такой подход не применим к усиленным под нагрузкой системам и необходимо в общем случае рассчитывать с учетом физической и геометрической нелинейности работы, т.е. системы, расчетные схемы которых изменяются вместе с изменением нагрузок, не подчиняются обобщенному закону Гука и не являются линейно деформируемыми.

В ряде случаев при статическом расчете необходимо учитывать не только общие деформации, полученные элементами системы к моменту усиления, но и особенности распределения напряжений и деформаций в сечениях. Например, центрально сжатый стержень, несимметрично усиленный путем увеличения сечения, после усиления и дополнительного нагружения начнет работать в условиях внецентренного сжатия. Следует отметить, что любой стержень, усиленный под нагрузкой увеличением его сечения, становится внутренне статически неопределимым и нахождение усилий, перемещений и напряжений в сечениях невозможно без учета особенностей его деформирования.

Эффективность усиления конструкций и их элементов под нагрузкой значительно повышается, когда используется упругопластическая стадия работы материала. Упруго работающие элементы усиления сдерживают развитие пластических деформаций в основных элементах исходной системы, что вызывает перераспределение усилий в системе в целом и в усиленных элементах. Пластические деформации в усиленных под нагрузкой конструкциях и элементах могут появляться при нагрузках, весьма далеких от предельных и сопровождать работу усиленной конструкции в значительном диапазоне нагружения. Это и определяет рациональность использования упругопластической стадии работы усиленных конструкций.

Особенности упругопластической работы усиленных под нагрузкой элементов можно рассмотреть на примере растянутого стержня, симметрично усиленного увеличением сечения.

Начальное напряженно-деформированное состояние стержня в момент усиления характеризуется следующими значениями напряжений и деформаций.

$$\sigma_0; \epsilon_0; \quad \sigma_y = 0; \quad \epsilon_y = 0,$$

где σ_0 и ϵ_0 – напряжение и деформация основного стержня; σ_y и ϵ_y – напряжение и деформация, возникающие в элементах усиления.

После усиления нагрузка на стержень увеличилась. Приращению нагрузки соответствуют приращения относительных деформаций основного стержня и элементов усиления

$$\Delta \epsilon = \Delta \epsilon_0 = \Delta \epsilon_y.$$

Полные относительные деформации основного стержня и элементов усиления составят

$$\epsilon = \epsilon_0 + \Delta \epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_y; \quad \epsilon_y = \epsilon - \epsilon_0.$$

Зная величины относительных деформаций, можно определить соответствующие им величины напряжений

$$\sigma = E_z \cdot \epsilon; \quad \sigma_y = E_z \cdot \epsilon_y,$$

где E_{η} – секущие модули упругости.

Из условия равновесия внешних и внутренних сил имеем

$$N = \int_A \sigma dA = \sigma_0 A_0 + \sigma_y A_y = \varepsilon E_{\zeta} A_0 + \varepsilon_y E_{\zeta} A_y .$$

Полные удлинения стержня, отвечающие нагрузкам N , будут определяться выражением

$$\Delta l = \varepsilon l = (\varepsilon_0 + \varepsilon_y) l .$$

При заданных диаграммах работы материалов полученные выражения позволяют проследить процесс развития пластических деформаций в усиленном стержне и построить диаграмму его работы.

Предел упругой работы усиленного стержня определяется условием $\sigma = \sigma_t$, ему отвечают значения

$$\begin{aligned} N_{упр} &= \sigma_T A_0 + (\sigma_T - \sigma_0) A_y = \sigma_T A - \sigma_0 A_y ; \\ \Delta l_{упр} &= \varepsilon l = (\sigma_T / E) l , \end{aligned}$$

где $A = (A_0 + A_y)$ – площадь усиленного стержня.

Из уравнений видно, что чем больше σ и A_y , тем меньше $N_{упр}$. Так, при $A_y = 0,5A$ и $\sigma = \sigma_t$ предел упругой работы усиленного стержня по сравнению с обычным ($\sigma_0 = 0$) снижается вдвое. Предел несущей способности усиленного стержня определяется условием $\sigma_0 = \sigma_t$; ему соответствуют значения

$$\begin{aligned} [N] &= \sigma_T A_0 + \sigma_T A_y = \sigma_T A ; \\ \Delta l_{прег} &= (\varepsilon_y + \varepsilon_0) l = (\varepsilon_T + \varepsilon_0) l \end{aligned}$$

Как видно из этих уравнений, величина предельной нагрузки не зависит от величины начальных напряжений, однако удлинения в предельном состоянии для усиленного под начальной нагрузкой стержня значительно больше, чем для обычного стержня (при $\sigma_0 = \sigma_t$ в два раза).

Таким образом, для усиленных под нагрузкой стержней характерны повышенная деформативность, снижение предела упругой работы и упругопластическая работа в значительном диапазоне нагрузок. Эти особенности работы носят общий характер и справедливы для сжатых, изгибаемых, сжато-изогнутых и иных стержней, усиленных под нагрузкой.

В тех случаях, когда предельное состояние элементов определяется условиями статической прочности, развитие пластических деформаций сглаживает неравномерности распределения напряжений в сечениях и начальная нагрузка не отражается на предельной несущей способности усиленных элементов. Однако более раннее развитие пластических деформаций приводит к снижению приведенного модуля упругости, уменьшению размеров упругого ядра и, следовательно, должно существенно влиять на устойчивость усиленных стержней. При работе элементов в составе стержневой системы перечисленные особенности обуславливают и особенности работы системы в целом.

Следует отметить, что и сам процесс усиления может оказать существенное влияние на работу усиленных стержней. Например, при усилении стержня, имеющего начальный прогиб, элементы усиления для обеспечения их прилегания должны быть предварительно сжаты к изогнутому основному стержню. Внутренне уравновешенная система сил приведет к

изгибу элементов усиления и обратному выгибу основного стержня. В результате этого прогиб стержня будет характеризоваться новой величиной.

Отсюда для усиленных под нагрузкой конструкций ввиду особенностей, связанных с нарушением естественного порядка их деформирования, сложного характера распределения напряжений и деформаций в сечениях, повышенной деформативности, работы в значительном диапазоне нагрузок в упругопластической стадии и т.д., традиционные методы расчета в общем случае являются малодостоверными. Поэтому расчет усиленных конструкций желательно выполнять как единых физически и геометрически нелинейных систем, прослеживая историю их нагружения и усиления, т.е. с учетом накапливаемых на каждом этапе работы напряжений, деформаций и перемещений системы. Это относится не только к статически неопределимым системам, но и к статически определимым, поскольку оценка их устойчивости и деформативности также невозможна без учета истории их предшествующей работы.

6.3 Усиление металлических балок

Наиболее распространенным способом усиления является усиление путем увеличения их сечения (рисунок 6.3). Подобный способ может применяться как самостоятельный метод усиления, так и в сочетании с методами регулирования усилий в неразрезных конструкциях за счет увеличения жесткости отдельных пролетов или опорных зон.

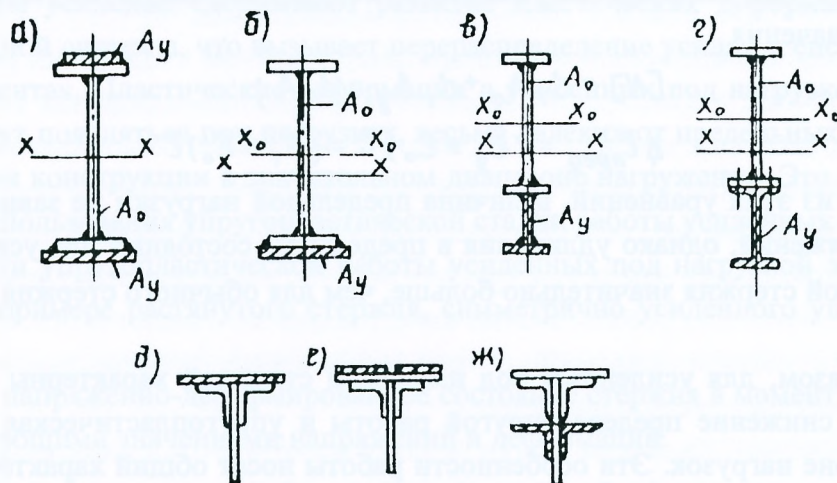


Рисунок 6.3 Усиление балок увеличением сечений: а, б, д – сплошными листами; е – полулистами; жс – уголками; в, г – тавром и двутавром.

Выбор схемы усиления определяется в первую очередь технологическими соображениями, исходя из удобства и возможностей присоединения элементов усиления.

Продольные балки проезжей части усиливают постановкой горизонтальных листов, прикрепляемых к нижним и верхним поясным уголкам. В продольных балках без верхних горизонтальных листов рекомендуется на всей длине ставить верхний горизонтальный лист.

Если продольная балка имеет горизонтальные листы и ее нужно усилить, то постановка дополнительных горизонтальных листов является более сложной операцией. Для упрощения технологии усиления вместо целого листа можно поставить два полулиста, закрепляя их последовательно.

С точки зрения возрастания моментов сопротивления сечения, наиболее рациональны схемы двустороннего усиления балки, не приводящие к значительному смещению центра тяжести сечения. Выбор размеров элементов усиления диктуется возможностью наложения швов.

Вариант усиления балок, полностью исключая перерывы в движении, заключается в постановке двух дополнительных уголков у каждого пояса. Существенным его недостатком является малая эффективность использования металла усиления. В целом недостатком схем соединения элементов на сварке является большой объем сварочных работ, неудобство наложения потолочных швов и значительное ослабление сечений при сварке под нагрузкой. В сварных балках эти схемы связаны с трудоемкими операциями по обрезке и надставке ребер жесткости.

Рассмотрим основные технологические особенности для наиболее распространенных способов усиления (рисунок 6.4).

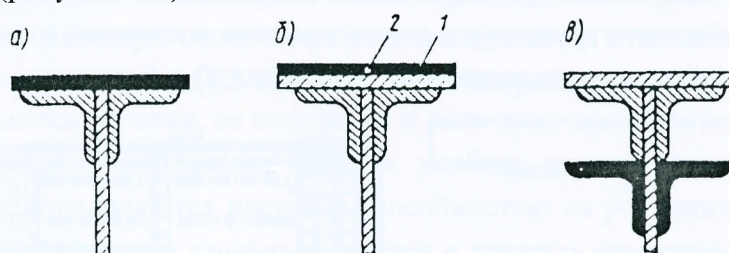


Рисунок 6.4 Наиболее распространенные способы усиления балок проезжей части: сплошным листом (а), полулистами (б) и уголками (в): 1 – полулист; 2 – уплотненный зазор.

Балки без верхних поясных листов усиливают в такой последовательности: на верхний пояс продольной балки укладывают лист с заранее просверленными отверстиями, затем по отверстиям в листе сверлят отверстия в горизонтальных полках уголков и ставят заклепки, сдвигая для этого поочередно мостовые брусья. Поверхность полок поясных уголков, на которую укладывают лист усиления, тщательно очищают от грязи и ржавчины. В случае прикрепления листов усиления высокопрочными болтами (к нижнему поясу) перед укладкой поверхности контакта листа и поясных уголков тщательно очищают. Окрашенные поверхности обычно очищают термическим способом с последующей обработкой стальными щетками или пескоструйным аппаратом, строго соблюдая правила техники безопасности. После этого лист закрепляют, сверлят отверстия в полках уголков (по отверстиям в листе), ставят высокопрочные болты и затягивают их до расчетного усилия. Затягивают высокопрочные болты в два приема: сначала обычным монтажным ключом закручивают гайку до отказа, а затем дотягивают до расчетного усилия специальным ключом, имеющим измерительное устройство для определения момента закручивания. Затягивают болты, начиная от середины балки, постепенно перемещаясь к ее концам. Практически аналогична технология и для других способов усиления.

К несимметричному одностороннему усилению прибегают только в тех случаях, когда двустороннее усиление экономически и технически нецелесообразно (из-за необходимости демонтажа настила, сложности производства работ и т.д.).

Следует учитывать, что несимметричное усиление листом при упругой стадии работы малоэффективно, так как оно не обеспечивает практически возрастания момента сопротивления сечения по сжатой зоне. Поэтому такое усиление может осуществляться только при допустимости использования упругопластической стадии работы усиливаемых балок.

Более эффективны схемы несимметричного усиления с помощью тавров или двутавров. Однако они связаны с необходимостью предварительного выгиба жестких элементов усиления в соответствии с формой изгиба усиливаемых балок. Недостатком этих схем является также сложность прикрепления элементов усиления с помощью потолочных швов или высокопрочных болтов.

Для более эффективного использования металла усиления целесообразно в процессе усиления регулировать внутренние усилия (разгружать конструкцию от усилий собственного веса, создавать усилия, противоположные по знаку усилиям от нагрузки). Для этих целей используют временные шпренгели предварительно напряженные затяжки, опоры и т. п. Если нужно значительно повысить грузоподъемность пролетного строения, то устраивают шпренгели простые и предварительно напряженные (рисунок 6.5).

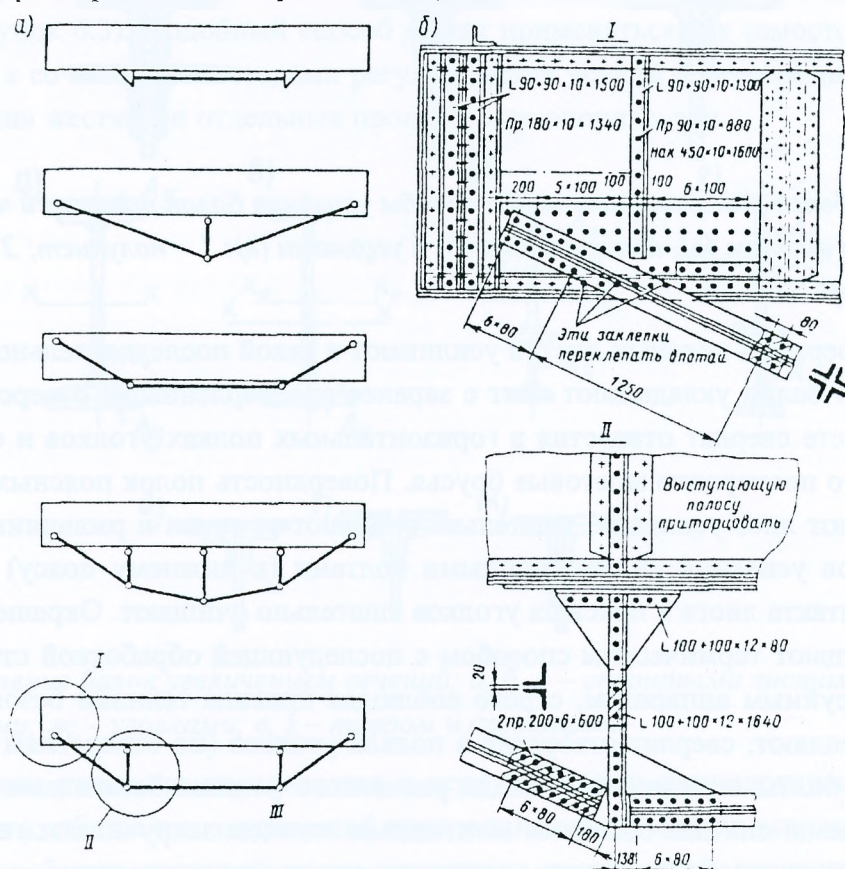


Рисунок 6.5 Усиление балок шпренгелями: а – схемы усиления, б – конструкция узлов.

Этот способ усиления выгодно отличается от других тем, что работы по усилению можно выполнять, не прерывая движение. При усилении, особенно предварительно напряженными шпренгелями, эффективно применять высокопрочную сталь в виде стержней круглого сечения и других прокатных профилей. В предварительно напряженных шпренгелях (для поясов) можно применять тросы или пучки из высокопрочной проволоки, которые

должны быть надежно защищены от коррозии. Предварительное напряжение производят домкратами, полиспастами, винтовыми приспособлениями и т. п.

В качестве примера рассмотрим конструкцию узлов шпренгеля согласно нижней схеме усиления. Элементы шпренгеля прикреплены на высокопрочных болтах. Предварительное напряжение осуществляют следующим образом: после прикрепления всех элементов шпренгеля, за исключением горизонтальных уголков, к одному из узлов, при помощи полиспаста и лебедки стягивают узлы II и III расчетным усилием. В стянутом состоянии ставят и затягивают высокопрочные болты прикрепления горизонтальных уголков. Предварительное напряжение можно создать также домкратами, установленными в узлах II и III. После прикрепления всех элементов шпренгеля (кроме прикрепления стоек к узлам II и III) домкратами создают расчетный распор между балкой и узлами II и III. В этом состоянии стойки закрепляют к узлам II и III высокопрочными болтами.

Усиление балок затяжками – это удобный и эффективный метод, особенно при предварительном напряжении затяжки и использовании упругопластической стадии работы. Усиление возможно под нагрузкой и без нагрузки. Регулирование усилий осуществляется за счет выбора величины выноса затяжки, ее очертания и величины предварительного напряжения.

С конструктивной точки зрения затяжки удобнее располагать под нижним поясом. Места их крепления определяются несущей способностью не усиленных сечений балки. Затяжка может быть выполнена из стальных канатов и круглых арматурных стержней. Предварительное напряжение осуществляется с помощью гаечных натяжных устройств, стяжных муфт и хомутов. Удобным способом создания начального напряжения затяжек, состоящих из двух ветвей, является использование стяжных хомутов в комбинации с распорками.

Усиление балок тросовыми системами является эффективным методом при больших пролетах и применяется при возможности надстройки над усиливаемой конструкцией тросовых систем. Основные сложности в проектировании и осуществлении усиления связаны с восприятием и передачей распорных усилий возникающих в системах (рисунок 6.6).

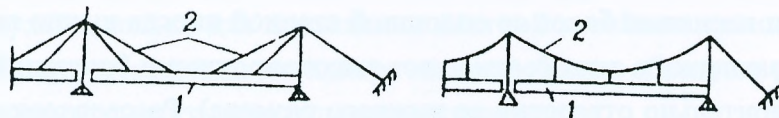


Рисунок 6.6 Варианты усиления балок надстройкой тросовых систем: 1 – балка; 2 – тросовые системы.

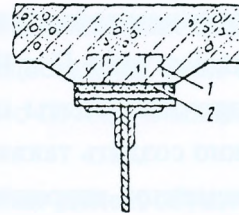
Значительное повышение грузоподъемности пролетных строений достигается устройством на верхних поясах главных балок железобетонной плиты, включенной в совместную работу с главными балками, – получается сталежелезобетонное пролетное строение. Железобетонная плита может быть монолитной или сборной (рисунок 6.7).

Для обеспечения совместной работы железобетонную плиту с верхним поясом балок соединяют с помощью жестких упоров, прикрепляемых к балкам и омоноличиваемых в плите или высокопрочных болтов. Плиту для повышения ее сцепления с балкой укладывают на клеенесчаный раствор, состоящий, например, из эпоксидной смолы ЭД-16 или ЭД-20 (100 м.ч.), песка (500 м.ч.), полиэтиленполиамин (15 м.ч.), дибутилфталата (до 10 м.ч.).

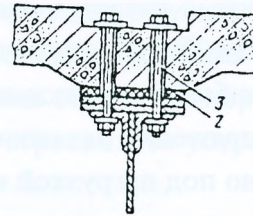
Соединение плиты с поясами балок возможно также с помощью специальных стальных закладных частей — упоров, заделываемых в бетоне плиты. Выступающими частями этих упоров плита опирается на столики, прикрепленные к поясам балок, и крепится к ним высокопрочными болтами. В этом случае исключаются мокрые процессы, связанные с укладкой раствора и бетона на монтаже.

Схемы соединения:

А) жесткими упорами;



Б) высокопрочными болтами;



В) опорными столиками.

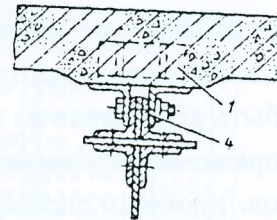


Рисунок 6.7 Соединение железобетонной плиты с балкой: 1 – жесткий упор; 2 – цементный или клеепесчаный раствор; 3 – высокопрочный болт; 4 – столик.

Если отверстие моста перекрыто несколькими разрезными пролетными строениями, то при усилении может оказаться эффективным объединение их в неразрезные.

При усилении клепаных балок со сплошной стенкой иногда нужно повысить прочность стыков. Для этого заклепки в стыках заменяют высокопрочными болтами большего диаметра (рассверлив предварительно отверстия до нужного размера). Рассверловку отверстий и замену заклепок выполняют постепенно, одновременно снимая не более 10% заклепок. Если при таком способе усиления не удастся увеличить грузоподъемность соединения до нужного уровня и требуется, кроме того, увеличить сечения накладок, то последние заменяют новыми, более мощными или ставят дополнительные накладки. Одновременно с усилением ремонтируют поврежденные коррозией, трещинами и вмятинами элементы балок – заменяют их полностью или частями на новые или же перекрывают поврежденные участки накладками.

Что касается стенок балок, то их необходимо усиливать в случае недостаточной местной их устойчивости или недостаточной несущей способности сечений балок по срезу (рисунок 6.8).

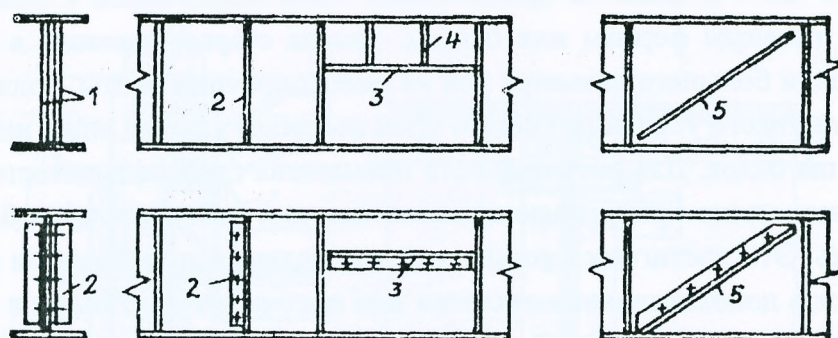


Рисунок 6.8 Варианты усиления стенок балок: 1 – дополнительные накладки; 2-5 – дополнительные поперечные, продольные и диагональные ребра жесткости.

Конструктивно и технологически наиболее приемлемые способы усиления связаны с постановкой дополнительных поперечных, продольных или наклонных ребер жесткости.

Дополнительные поперечные ребра служат для восприятия и передачи на стенку балки больших сосредоточенных сил (в местах опирания дополнительных поперечных балок, дополнительных опор, подкосов, стоек шпренгеля и т.д.) или обеспечения местной устойчивости отсеков стенки в зоне действия значительных поперечных сил.

Дополнительные продольные ребра можно устанавливать и с целью обеспечения местной устойчивости стенок в тех местах балки, где превалирующее влияние на местную устойчивость оказывают нормальные напряжения. Ребра располагают ниже пояса в зоне действия сжимающих нормальных напряжений.

Установка продольных и поперечных ребер практически не снижает величины касательных напряжений в стенке и, таким образом, не повышает несущую способность балок на срез. Эффективным методом повышения сдвиговой жесткости и несущей способности на срез является постановка наклонных ребер жесткости.

Применяют наклонные ребра, не связанные с поясами и связанные с ними. Ребра первого типа могут служить только для повышения местной устойчивости стенки. Ребра второго типа в сочетании с существующими поперечными ребрами образуют раскосную решетку и позволяют значительно снизить касательные напряжения.

Дополнительные ребра прикрепляются к стенкам балки при помощи высокопрочных болтов или сварных швов. Сварные соединения более технологичны, но приводят к ослаблению сечений усиливаемого стержня в процессе сварки. Это диктует особый подход к выбору типа швов и режима сварки.

Прикрепление вертикальных и наклонных ребер к поясам также должно проектироваться с учетом требований наименьшего ослабления сечений балки при сварке. С этой точки зрения, при усилении под нагрузкой недопустимо наложение поперечных швов, пересекающих сечение пояса.

При введении дополнительных поперечных ребер, служащих только для обеспечения местной устойчивости стенки, их можно вообще не прикреплять к поясам. Соединение диагональных ребер второго типа с поясами должно обеспечивать передачу на них продольных усилий, возникающих в ребрах.

В усилении часто пуждаются прикреплению продольных балок к поперечным и поперечных балок к главным фермам или балкам. Замена старых заклепок в соединительных уголках на заклепки большего диаметра или на высокопрочные болты – один из распространенных вариантов такого усиления. Однако этим способом удастся лишь незначительно усилить прикреплении балок. Для значительного повышения грузоподъемности таких прикреплений увеличивают число прикрепляющих заклепок или высокопрочных болтов и их несущую способность. Это достигается установкой на соединительные уголки накладок, позволяющих разместить дополнительные заклепки или высокопрочные болты и увеличить число контактов (срезов). Между накладкой и стенкой балки ставят прокладки. При таком усилении старые заклепки прикреплении должны быть заменены. В качестве примера рассмотрим вариант усиления прикреплении продольных балок с установкой дополнительных заклепок или высокопрочных болтов в приваренных к соединительным уголкам накладках. По этому варианту усиления сначала к полкам уголков приваривают накладки, не допуская их приварки к стенкам балок, а затем ставят заклепки или высокопрочные болты (рисунок 6.9).

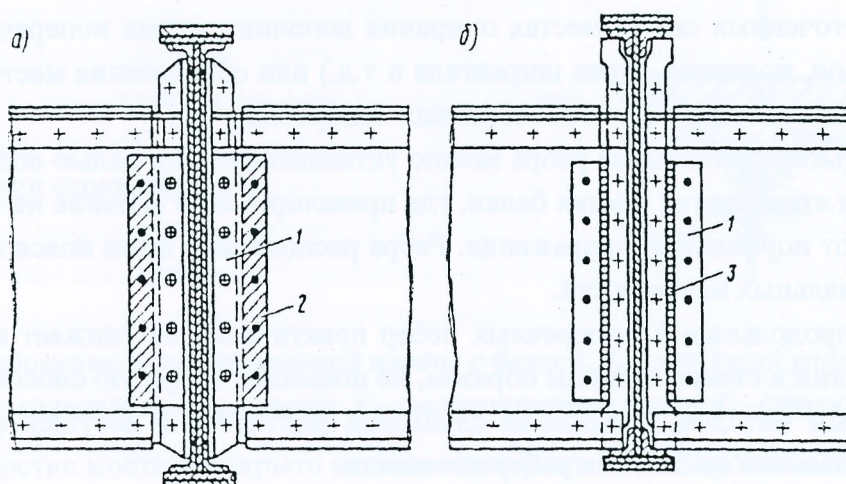


Рисунок 6.9 Усиление прикреплении продольных балок к поперечным обычными (а) и приваренными накладками (б): 1 – накладка; 2 – прокладка; 3 – сварной шов.

Примечание. Крестиком обозначены старые заклепки, черной точкой – заклепки или высокопрочные болты в просверленных при усилении отверстиях, крестиком в кружке – новые заклепки или высокопрочные болты в старых отверстиях.

Серьезный недостаток прикреплении продольных балок к поперечным в старых мостах – отсутствие «рыбок», что приводит к размалковыванию соединительных уголков, появлению трещин в них и отрыву головок верхних и нижних заклепок, работающих на растяжение. Рассмотрим один из способов усиления прикреплении продольных балок к поперечным при помощи стержней, выполняющих роль «рыбок» (рисунок 6.10).

Для пропуска стержней через стенку поперечной балки в ней просверливают отверстия нужного диаметра. Концы стержней приваривают к накладкам, прикрепленным к поясным уголкам продольных балок высокопрочными болтами. Накладки и стержни изготовляют из стали, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к сталям для сварных мостов.

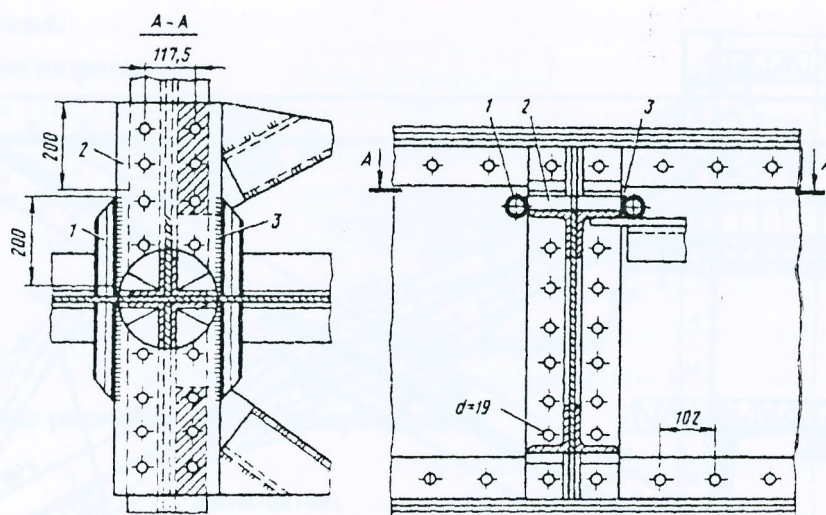


Рисунок 6.10 Усиление прикрепления продольных балок к поперечным: 1 – «рыбка», 2 – накладка; 3 – сварной шов.

Для снижения концентрации напряжений переходы от стержней к накладкам делают плавного очертания. Эффективность работы «рыбок» повышается при создании в них предварительного напряжения растяжения. Это достигается, например, подогревом стержней пламенем газовой горелки перед закреплением накладок высокопрочными болтами. Предварительное напряжение в «рыбках» удобно создавать также закручиванием гаек. Для этого «рыбки» изготавливают в виде стержней с резьбой на концах, которые прикрепляют к специальным упорам на продольных балках.

В некоторых случаях, когда высота продольных балок значительно меньше чем у поперечных, в стенке поперечной балки можно сделать щелевидные вырезы и установить через эти вырезы плоские «рыбки». Сплошные поперечные балки усиливают по сечению горизонтальными листами или уголками. Значительно повысить грузоподъемность поперечных балок можно устройством нижних шпренгелей, если позволяет подмостовой габарит. Предварительное напряжение элементов шпренгеля повышает эффект усиления.

Сегодня эксплуатируется большое число пролетных строений со сквозными поперечными балками, крайние раскосы и пояса, у которых имеют недостаточную грузоподъемность по сечению и креплению. При усилении этих балок раньше широко использовали сварку. Однако после усиления с применением сварки в сварных швах и в основном металле быстро появлялись трещины. В последние годы крайние восходящие раскосы стали усиливать обратными раскосами, а пояса – увеличением их сечения. Металл усиления прикрепляют заклепками или высокопрочными болтами. Рассмотрим усиление сквозной поперечной балки пролетного строения $l_p = 126,8$ м. При усилении поставлены обратные раскосы из уголков 100+100x12 мм; сечение верхнего пояса увеличено при помощи горизонтальных листов сечением 70x12 мм, а нижнего – уголков 75+75x12 мм. Эффективность усиления существенно повышается, если вместо обычного обратного раскоса ставить предварительно напряженные затяжки из высокопрочной стали. Предварительное напряжение обратного раскоса позволяет регулировать усилия в усиливаемом раскосе (рисунок 6.11).

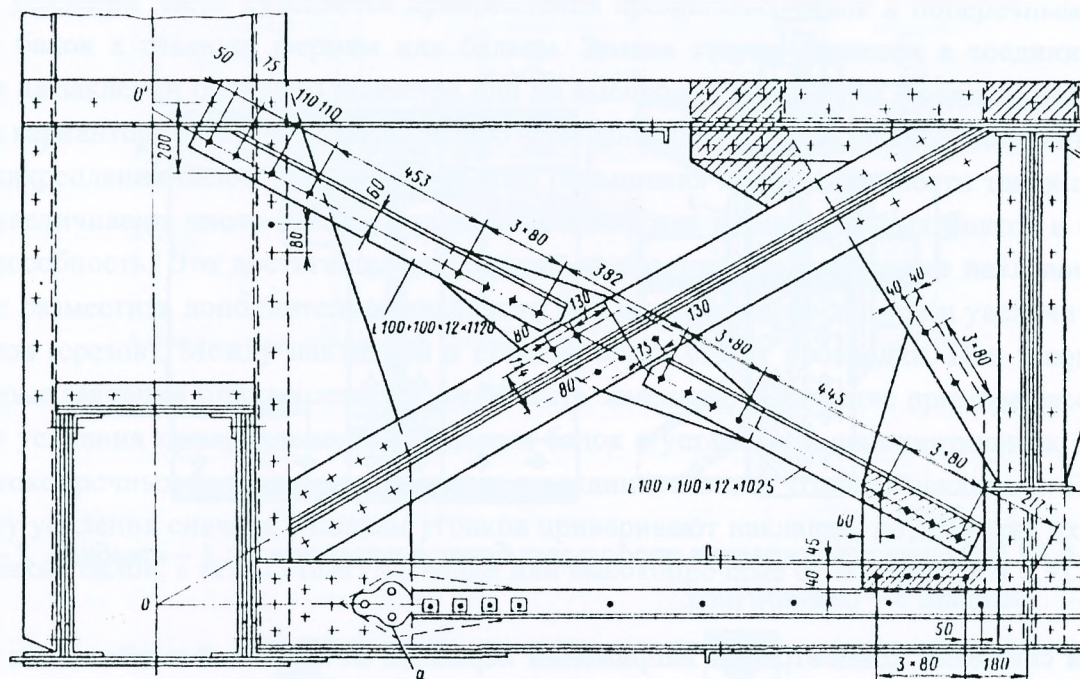


Рисунок 6.11 Усиление сквозной поперечной балки. Крестиком обозначены старые заклепки, черной точкой – высокопрочные болты или заклепки в новых отверстиях; кружком – новые заклепки или высокопрочные болты в старых отверстиях.

При усилении балок проезжей части может возникнуть необходимость в дополнительных уголках жесткости, иногда приходится устанавливать связи и между продольными балками. Для усиления балок по шагу поясных заклепок заменяют старые заклепки новыми или высокопрочными болтами большего диаметра. Если этим способом нельзя достигнуть требуемой грузоподъемности, то на вертикальные полки поясных уголков ставят накладки, прикрепляемые высокопрочными болтами или заклепками к уголкам и стенке балки. Одновременно с усилением ремонтируют поврежденные элементы балок: заменяют поврежденные элементы или их части, перекрывают поврежденные места накладками и т. п.

6.4 Усиление сплошных и сквозных главных ферм

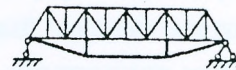
Усиление сплошных и сквозных главных ферм наиболее часто выполняют следующими способами:

- а) увеличение поперечных сечений элементов;
- б) изменение системы ферм.

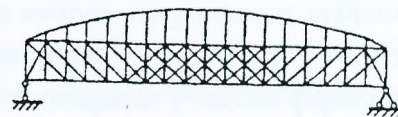
При этом представляются широкие возможности искусственного регулирования усилий в их элементах путем изменения статической схемы, предварительного напряжения элементов, изменения положения опорных узлов в вертикальной плоскости неразрезных ферм, разгрузки (догрузки) пролетного строения при усилении и др. Это позволяет создавать наиболее благоприятные условия для использования несущей способности усиливаемых и вновь добавляемых элементов, а также конструкции в целом. Схему усиления с изменением системы пролетных строений выбирают на основании анализа состояния конструкции, расчетной грузоподъемности и деформативности. Это может быть (рисунок 6.12):

Схемы усиления:

А) подведение шпренгеля;



Б) устройство третьего пояса;



В) объединение различных ферм в неразрезные;



Г) сооружение дополнительной опоры.

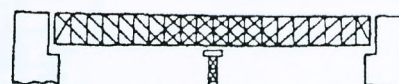


Рисунок 6.12 Схема усиления главных ферм с изменением системы.

Особенности применения этих схем следующие:

— если необходимо значительно усилить пояса главных ферм, повысить вертикальную жесткость пролетного строения, устраивают шпренгели или третий пояс;

— превращение разрезных ферм в неразрезные и устройство дополнительной опоры позволяет при определенных условиях намного увеличить их грузоподъемность.

— при изменении статической схемы происходит перераспределение усилий в элементах усиливаемой конструкции

Для более рационального перераспределения усилий можно, кроме того, их регулировать – предварительно напрягать элементы шпренгеля или третьего пояса и изменять уровень опорных частей

При достаточной высоте моста шпренгели располагают под нижним поясом, придавая им треугольные или многоугольные очертания со стрелой $1/7-1/10$ пролета. Сечение шпренгелей и стоек составляют из уголков или швеллеров, а в плоскости стоек, работающих на сжатие, ставят поперечные связи (рисунок 6.13).

Шпренгели можно прикреплять к фасонке, что наиболее просто в выполнении. Недостаток – изгиб полок поясных уголков и работа заклепок на отрыв головок. Лучше прикреплять шпренгель к вертикальному листу, для чего требуется частичное удаление нижних поясов ферм. Шпренгели рекомендуется выполнять с жесткими соединениями – на фрикционных болтах или электросварке (рисунок 6.14).

Для включения шпренгеля в совместную работу с фермами в нем создают предварительное натяжение. При небольшом числе стоек предварительное натяжение может быть осуществлено домкратами, установленными вдоль стоек на опорные площадки. В этом случае стойки в верхних узлах прикрепляют к фермам после того, как домкратами будет создано требуемое натяжение шпренгеля. Напрягать многоугольные шпренгели проще натяжными приспособлениями.

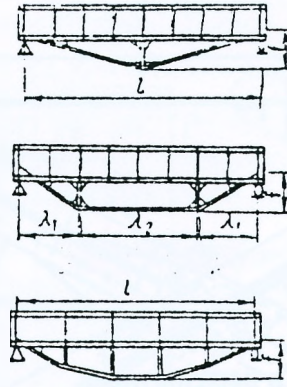


Рисунок 6.13 Схемы поперечного усиления ферм.

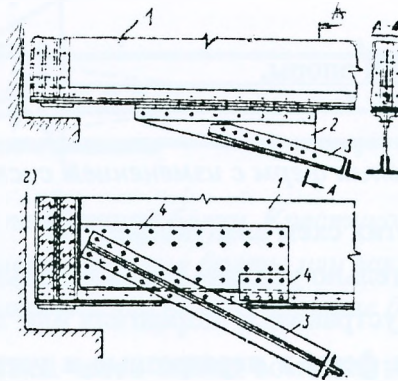


Рисунок 6.14 Шпренгели для усиления сплошных ферм: 1 – вертикальный лист фермы; 2 – фасонка; 3 – шпренгель; 4 – накладка.

Если подмостовое пространство недостаточно, то шпренгели располагают в пределах высоты ферм. В этом случае весьма выгодно применять гибкие шпренгели в виде кабелей из пучков тонкой высокопрочной проволоки или из тросов заводского изготовления. Такая конструкция особенно целесообразна при усилении сплошных ферм железобетонной плитой, когда одновременно с усилением сжатых поясов требуется значительно усилить и растянутые пояса. Особенность гибких шпренгелей – искусственное натяжение их, подобно тому, как это делается в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

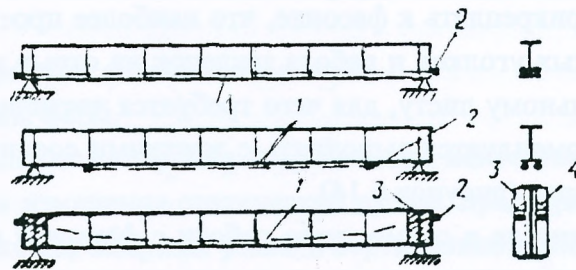


Рисунок 6.15 Схемы расположения гибких шпренгелей: 1 – кабель; 2 – анкер; 3 – железобетон; 4 – упор.

Гибкие шпренгели могут иметь прямолинейные или полигональные очертания (рисунок 6.15).

В первом случае кабели располагают вдоль нижних поясов ферм. Предварительное натяжение таких кабелей вызывает по длине фермы отрицательный момент постоянной величины, что не всегда соответствует наилучшему распределению внутренних усилий. Полигональные кабели, переломы которых очерчены по параболе, равномернее уравнивают моменты от внешних вертикальных сил. В местах перегиба кабели удерживают ребрами жесткости ферм. Концы кабелей закрепляют вблизи опорных сечений ферм или за их торцы при помощи упорных столиков. Можно также обетонировать опорные участки ферм и закрепить кабели, так же как и в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

Гибкими кабелями могут быть достаточно просто усилены и неразрезные фермы (рисунок 6.16).

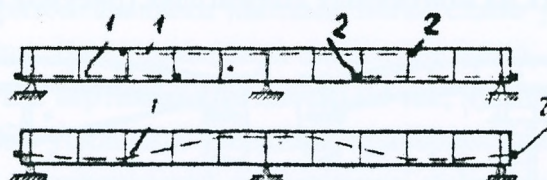


Рисунок 6.16 Схемы расположения гибких шпренгелей на неразрезных фермах: 1 – кабель; 2 – анкер.

При усилении главных ферм весьма эффективно применение предварительно напряженных затяжек из высокопрочной стали (рисунок 6.17).

В этом случае наиболее полно используются прочностные свойства металла затяжек и усиливаемых элементов, сравнительно просто достигается рациональное распределение усилий в элементах, почти полностью исключается расклепка существующих соединений, и поэтому работы по усилению можно выполнять практически без перерыва движения.

По схемам а, б выполняют поэлементное предварительное напряжение. В этом случае в других элементах практически не возникают усилия предварительного напряжения.

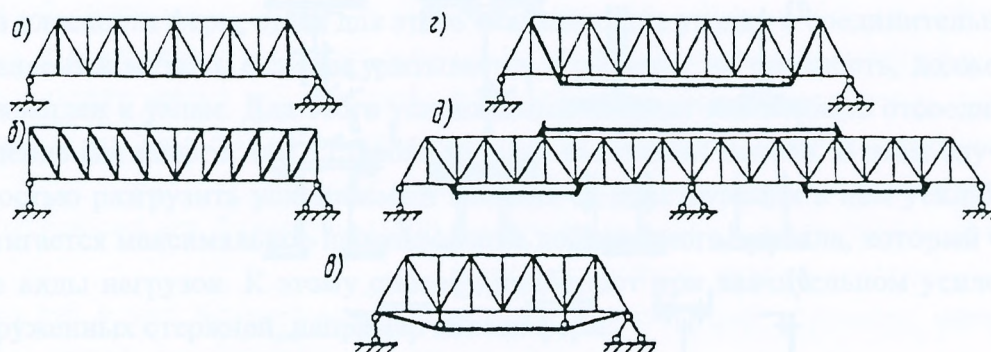


Рисунок 6.17 Схемы усиления предварительно напряженными затяжками: а, б – при поэлементном предварительном напряжении; в, г – с изменением статической схемы; д – неразрезной фермы. Затяжки выделены жирными линиями.

Усиление по схемам в и г связано с изменением статической схемы, поэтому предварительное напряжение, создаваемое затяжками, распределяется на большое число элементов системы. При усилении неразрезной фермы по схеме д, как и в любой статически неопреде-

лимой системе, в процессе предварительного напряжения затяжек возникают усилия практически во всех основных элементах, а максимальные – в элементах поясов, примыкающих к затяжкам.

Более дешевый способ – частичная разгрузка и регулирование внутренних усилий поддомкращиванием ферм в отдельных точках. Обычно достаточно поддомкратить фермы в середине пролета, расположив домкраты на временной опоре. Поддомкращивая, в фермах создают отрицательный изгибающий момент и в этом состоянии их усиливают, например укладывают железобетонную плиту или усиливают пояса металлом. После удаления домкратов, конструкции усиления будут частично воспринимать нагрузки от собственного веса ферм. Если по местным условиям устройство промежуточной опоры невозможно или дорого, то домкраты можно располагать на монтажных шпренгелях (рисунок 6.18).

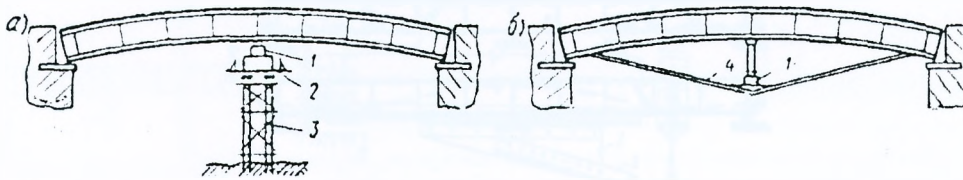


Рисунок 6.18 Схемы разгрузки ферм: 1 – домкрат; 2 – опорная шпальная клетка; 3 – временная опора; 4 – шпренгель.

Однако следует отметить, что изменение системы главных ферм почти всегда вызывает необходимость усиливать отдельные элементы ферм и их прикреплений.

Наиболее распространенный способ усиления стержней сквозных ферм – увеличение их поперечного сечения дополнительным металлом. Дополнительный металл располагают так, чтобы после усиления не возникали большие эксцентриситеты в узлах, вызывающие изгиб стержней, прикрепление нового металла к существующей конструкции было бы наиболее простым, а раскленка ее, особенно в узлах была бы минимальной (рисунок 6.19).

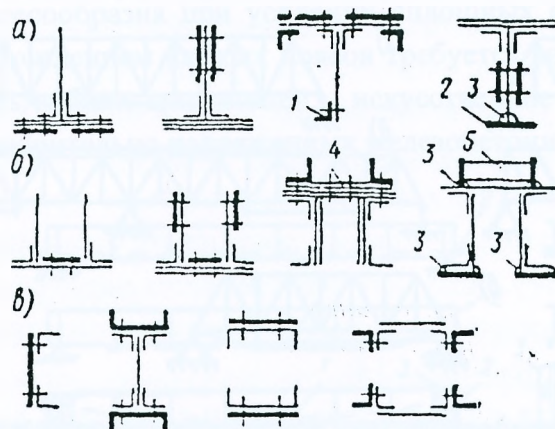


Рисунок 6.19 Схемы усиления стержней ферм металлом: а – одностенчатых поясов; б – двухстенчатых поясов; в – элементов решетки: 1 – уголок жесткости; 2 – ребра жесткости; 3 – электрошвы; 4 – планка; 5 – диафрагма. Металл усиления показан жирно.

Новый металл рекомендуется прикреплять фрикционными болтами. Если возникают сомнения в плотном прилегании отдельных частей сечения друг к другу и развитии между ними сил трения, то следует переходить к заклепочным соединениям. Электросварные соединения могут значительно упростить конструкцию усиления, но, применяя электросварку, необходимо учитывать возможность сварки старого металла, а также пониженное качество сварных швов, выполняемых в монтажных условиях.

Пояса предпочтительнее усиливать горизонтальными листами, так как при этом не требуется расклепка узловых фасонки. В старых мостах с развитыми горизонтальными пакетами листы усиления рекомендуется составлять из отдельных полос, прикрепляемых последовательно, что позволит избежать одновременную расклепку горизонтального пакета по всей его ширине. Усиление горизонтальными листами значительно увеличивает эксцентриситет прикрепления пояса в узлах. Для уменьшения эксцентриситета, кроме горизонтальных листов, вводят новый металл и в вертикальные листы, но так, чтобы его легко было прикрепить к узлам. Пояса ферм удобно усиливать уголками, привариваемыми к коротким подкладкам, которые приклепывают к существующей конструкции заклепками. Толщину прокладок берут несколько больше высоты существующих заклепочных головок, что позволяет обойтись минимальной расклепкой конструкции.

Возможно также усиление вертикальными листами небольшой высоты, привариваемыми к поясу.

В сжатых поясах при свободной ширине пакетов более 12 толщин необходимо ставить окаймляющие уголки или приваривать ребра жесткости. Если уголки или ребра жесткости удастся прикрепить к узлам, то их можно учитывать при расчетах прочности; в противном случае они могут быть учтены только в расчете на устойчивость.

Усиление элементов решетки ферм может быть весьма разнообразным и зависит от типа их сечения и конструкции прикрепления к узлам. Размещение нового металла должно быть симметричным и подчинено главным образом удобству присоединения его к узловым фасонкам. В многорешетчатых фермах с плоскими раскосами нужно увеличивать жесткость раскосов из плоскости ферм, ставя для этого окаймляющие уголки и соединительные планки.

Добавляемый металл, если он учитывается в расчетах на прочность, должен быть надежно прикреплен к узлам. Для этого усиливаемый элемент может быть отсоединен от узла и прикрепление как нового, так и старого металла выполнено заново. В этом случае необходимо полностью разгрузить усиливаемый элемент от действующих в нем усилий. Одновременно достигается максимальное использование добавляемого металла, который будет работать на все виды нагрузок. К этому способу прибегают при значительном усилении значительно нагруженных стержней, например поясов ферм.

В стержнях, слабо нагруженных постоянными нагрузками, новый металл можно прикрепить без разгрузки элемента и расклепки узла.

Особенности усиления узловых прикреплений приведены на рисунке 6.20.

Накладки приклепывают последовательно, чем исключается полное отсоединение раскоса от узла фермы. Продольный шов между накладками рекомендуется заваривать нитяным швом толщиной 4-6 мм. Часто металл усиления удается прикрепить уголковыми коротышами, одну полку которых приклепывают к фасонке, а другую – к элементу усиления.

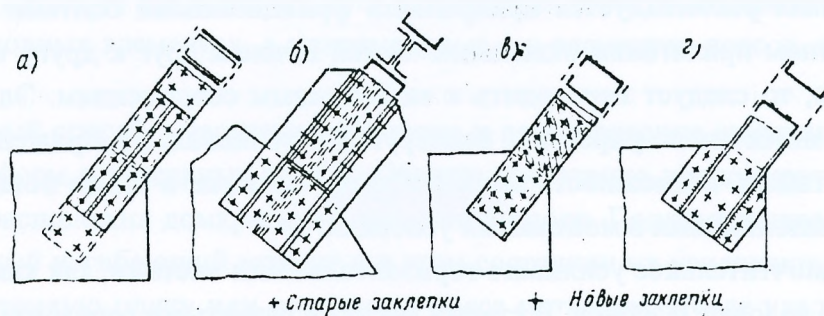


Рисунок 6.20 Усиление узловых прикреплений.

Прикрепления можно усилить заменой старых заклепок заклепками большего диаметра или заменой односрезных двухсрезными, а также приваркой к стержню дополнительных уширений, прикрепляемых к фасонке и другими способами (рисунок 6.20).

Усиление дополнительным металлом выполняют по заранее разработанной технологии, исключая перенапряжения конструкции, руководствуясь следующими основными правилами. Переклепывать узлы ферм нужно постепенно, допуская одновременно расклепку только одного узла. При двухстенчатых сечениях, если не применяются специальные меры по разгрузке усиливаемого элемента, переклепка должна вестись поочередно каждой ветви в отдельности. Удаляемые заклепки следует заменять пробками и болтами. После установки новых заклепок необходимо проверить плотность близрасположенных старых заклепок, и если они окажутся распатанными, то переклепать их. Если заклепки ставят по старым отверстиям, то необходимо снять точное расположение отверстий и по шаблону перенести их на добавляемый новый металл. Отверстия в новом металле сверлят на меньший диаметр и только после установки на место рассверливают до проектных размеров. При приварке отдельных деталей следует сначала наложить швы и затем ставить заклепки, в противном случае при усадке шва заклепки могут быть срезаны.

Как указывалось, работы по усилению могут быть упрощены, если усиливаемый элемент разгрузить от действующих на него усилий. Если нужно переклепать большое число узлов, то под пролетное строение подводят сплошные подмости и домкратами, расположенными в узлах, разгружают фермы от постоянной нагрузки. Для смены отдельных стержней фермы поддомкрачивают с временных опор или ставят натяжные приспособления, воспринимающие на себя силы, действующие в усиливаемом элементе.

При небольших силах в качестве натяжных приспособлений для растянутых стержней могут быть использованы тали, полиспасты, тужи.

Усиление элементов ферм осуществляется как с разгрузкой, так и без разгрузки от действия постоянной нагрузки. В первом случае достигается более эффективное использование добавляемого металла, который будет работать на все виды нагрузок. Упрощается также производство работ по прикреплению добавляемого металла. Однако для разгрузки усиливаемых элементов требуется сооружение дополнительных временных опор или устройство специальных разгрузочных приспособлений для каждого из них. Устройство разгрузочных приспособлений связано, как правило, со значительными затратами и является достаточно сложным. Поэтому в большинстве случаев элементы ферм усиливают без

сложным. Поэтому в большинстве случаев элементы ферм усиливают без освобождения от постоянной нагрузки.

Для повышения эффективности применения высокопрочных сталей при усилении элементов используют предварительное напряжение с регулированием усилий между новым и старым металлом. При усилении элементов, работающих на растяжение или на знакопеременные усилия с преимущественным растяжением, используют предварительно напряженные затяжки из высокопрочной стали, натяжение которых осуществляют при помощи гаек, завинчиваемых на их концах. С этой целью могут быть применены тросы и пучки из высокопрочной проволоки, надежно защищенные от коррозии.

Затяжки в сечении усиливаемого элемента располагают так, чтобы равнодействующая усилий предварительного напряжения проходила через центр тяжести сечения (рисунок 6.21).

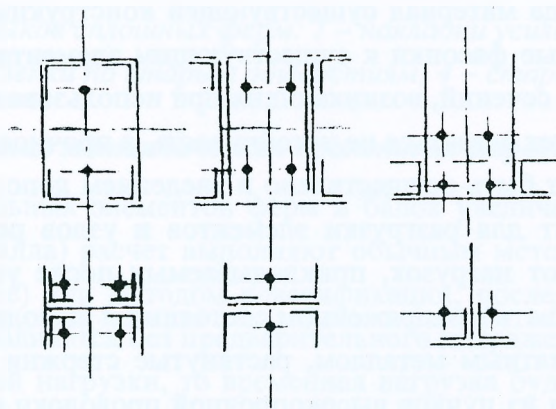


Рисунок 6.21 Варианты расположения преднапряженных затяжек.

В этом случае, когда в усиливаемом элементе нужно создать изгибающий момент от силы предварительного напряжения, обеспечивают требуемый эксцентриситет.

Для уменьшения гибкости и возможных колебаний затяжки ее в отдельных сечениях прикрепляют к основным элементам. Иногда между усиливаемым элементом и затяжками устанавливают связи для предотвращения потери устойчивости частей элемента при его обжатии усилиями предварительного напряжения. Необходимость в связях и их расположение определяют расчетом.

Предварительное напряжение можно использовать и при усилении сжатых элементов, создавая в них усилия растяжения. В этом случае вместо затяжек ставят распорки.

Усилие с предварительно напряженных затяжек передается на специальные упоры, располагаемые обычно за узлом, к которому прикреплен усиливаемый элемент. Упоры прикрепляют высокопрочными болтами.

Усиление сжатых элементов, кроме увеличения площади поперечного сечения, может быть достигнуто уменьшением свободной длины. С этой целью вводятся шпренгельные элементы решетки (рисунок 6.22).

Такой способ усиления не изменяет статических свойств конструкции и общего распределения усилий в ней, но позволяет уменьшить расчетные длины сжатых элементов (поя-

сов, раскосов) и является эффективным приемом повышения их устойчивости в плоскости фермы.

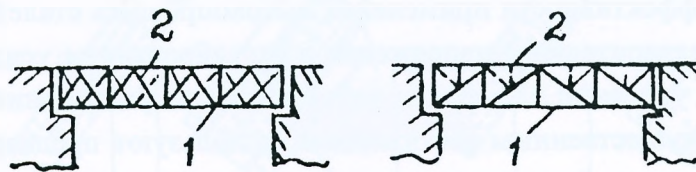


Рисунок 6.22 Варианты усиления ферм введением дополнительных элементов решетки: 1 – существующие фермы; 2 – элементы усиления.

Прикрепление дополнительных элементов решетки осуществляется с помощью вновь вводимых фасонки к стержням и узлам существующей конструкции. При этом следует избегать расцентровки осей дополнительных элементов в узлах.

В таких случаях, когда материал существующей конструкции не позволяет использовать сварку, дополнительные фасонки к существующим элементам прикрепляются на болтах. В связи с ослаблением сечений, возникающих при использовании болтов определяющей несущую способность, может оказаться не устойчивость, а прочность усиливаемого стержня.

Усиление ферм может быть осуществлено и введением дополнительных элементов решетки. Этот прием служит для разгрузки элементов и узлов решетки ферм и позволяет уменьшить в них усилия от нагрузок, прикладываемых после усиления. Дополнительные элементы можно устанавливать в напряженном состоянии и выполнять из гибких стержней.

Кроме усиления прокатным металлом, растянутые стержни поясов ферм могут быть усилены гибкими кабелями из пучков высокопрочной проволоки или витых тросов. Кабели предварительно натягивают, после чего закрепляют анкерами в узлах ферм. Предварительное напряжение кабелей сжимает основной металл и разгружает его от растяжения основными силами.

В статически определимых фермах предварительное напряжение кабелей вызывает сжатие только усиливаемых стержней и не отражается на усилиях в остальных стержнях. В статически неопределимых системах каждый предварительно напряженный стержень вносит одну лишнюю неизвестную. И в этом случае расчет ведется по общим правилам строительной механики с учетом принятой последовательности натяжения.

В балках со сплошной стенкой может возникнуть необходимость в усилении стыков вертикальных листов и поясов.

В старых мостах стыки вертикальных листов бывают перекрыты накладками не на полную высоту, а только между поясными уголками. Такая конструкция вызывает перенапряжение уголков. В этом случае усиливать можно узкими накладками расположенными в пределах вертикальных полок уголков.

Усиление универсальных стыков сплошных балок наиболее сложно. Обычно его выполняют путем расклепки стыка и замены накладок новыми с большим числом заклепок. Если усиление требуется только по заклепкам, а не по прочности накладок, то можно заменить существующие заклепки заклепками большего диаметра. Универсальные стыки при сварных

соединениях можно усилить дополнительными накладками, приваренными к существующим (рисунок 6.23).

При пересчете сплошных балок проверяют местную устойчивость вертикального листа. Если она оказывается недостаточной, то ставят дополнительные уголки или ребра жесткости.

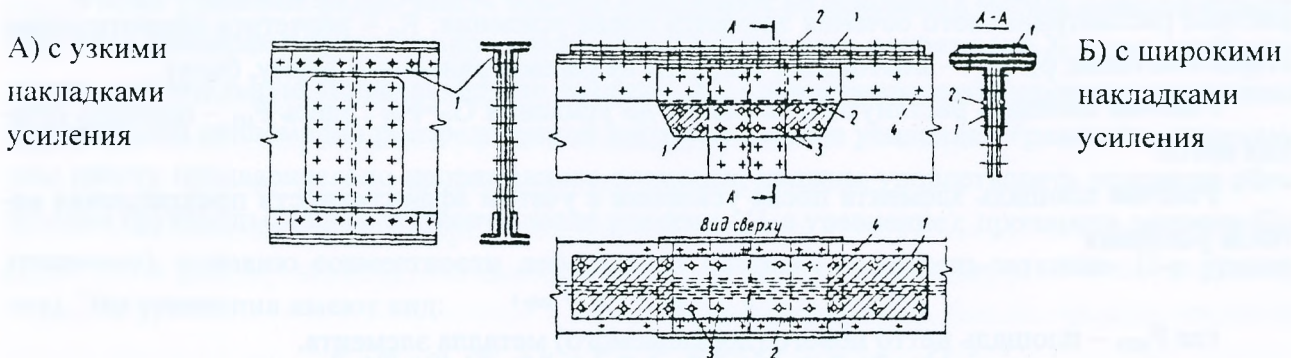


Рисунок 6.23 Усиление стыков сплошных ферм: 1 – накладки усиления; 2 – электрошов; 3 – новые заклепки по старым отверстиям; 4 – старые заклепки.

6.5 Расчеты усиления металлических пролетных строений и их элементов

При усилении отдельных элементов ферм и балок увеличением площади их сечения (добавлением нового металла) расчет выполняют обычным методом (определяют напряжения в усиленном элементе) или методом классификации; последним пользуются наиболее часто. Если усиление выполняется без предварительного напряжения элемента и без разгрузки от действия постоянной нагрузки, то временная нагрузка будет восприниматься усиленным сечением элемента, а постоянная – только сечением до усиления (старым металлом). В связи с тем, что прикрепление нового металла в узлах и стыках может отличаться от прикрепления старого металла, новый и старый металлы из-за различной податливости прикреплений будут неодинаково напрягаться при действии временной нагрузки. Это различие в работе нового и старого металла учитывается коэффициентом эффективности усиления ρ_0 . Аналогично учитывается различие в модулях упругости старого и нового металла.

Условие прочности усиленного элемента (по старому металлу)

$$\sigma = \frac{\varepsilon \cdot k \cdot n_k \cdot \Omega_k}{G_y} + \frac{p_s \cdot n_p \cdot \Omega_p}{G_o} \leq m \cdot R_c.$$

Допускаемая временная вертикальная равномерно распределенная нагрузка для усиленного элемента при расчете на прочность

$$k = \frac{I}{\varepsilon \cdot n_k \cdot \Omega_k} \cdot \left(m \cdot R_c \cdot G_y - p_s \cdot n_p \cdot \Omega_p \cdot \frac{G_y}{G_o} \right).$$

Аналогично составляют условия устойчивости и выносливости усиленных элементов. Решая их, получают допускаемую временную вертикальную нагрузку для усиленных элементов по устойчивости:

$$k = \frac{I}{\varepsilon \cdot n_k \cdot \Omega_k} \cdot \left(m \cdot R_c \cdot G_y \cdot \varphi - p_s \cdot n_p \cdot \Omega_p \cdot \frac{G_y}{G_o} \right),$$

и по выносливости

$$k = \frac{l}{\varepsilon \cdot \theta \cdot \Omega_k} \cdot \left(m \cdot R_c \cdot G_y \cdot \gamma - p_s \cdot \Omega_p \cdot \frac{G_y}{G_o} \right),$$

где G_o – геометрическая характеристика (рабочая площадь, рабочий момент сопротивления и др.) рассматриваемого сечения элемента до усиления; G_y – геометрическая характеристика рассматриваемого сечения элемента после усиления; R_c – расчетное сопротивление старого металла; $p_s = p/N$ – постоянная нагрузка на рассматриваемую ферму, балку.

Рабочая площадь растянутого элемента до усиления $G_o = F_{нт}$, здесь $F_{нт}$ – площадь сечения нетто.

Рабочая площадь элемента после усиления с учетом эффективности прикрепления металла усиления

$$G_y = F_{нтн} + \rho_o \cdot F_{нтн},$$

где $F_{нтн}$ – площадь нетто нового (добавляемого) металла элемента.

Коэффициент эффективности усиления при прикреплении заклепками $\rho_o \leq 1$, зависит от конструкции и прочности прикрепления нового металла. При прикреплении нового металла высокопрочными болтами или сварными швами $\rho_o = 1$.

Подобным образом определяют геометрические характеристики сечений усиливаемых элементов, работающих на сжатие и изгиб.

Работы по усилению пролетного строения выполняют с подмостей подвешиваемых к главным фермам или балкам проезжей части Вес подмостей (20-30 кН/м) учитывают при определении грузоподъемности элементов пролетного строения после усиления.

Вес подмостей полностью передается на элементы до их усиления имеющие геометрические характеристики сечения G_o . После снятия подмостей пролетное строение разгружается. Усилия от разгрузки будут восприняты усиленными элементами с геометрическими характеристиками сечений G_y . Приняв вес подмостей на рассматриваемую ферму (балку) равномерно распределенным по ее длине равным p_n и пренебрегая влиянием веса добавляемого металла, получим условие прочности усиленного элемента (по старому металлу)

$$\sigma = \frac{\varepsilon \cdot k \cdot n_k \cdot \Omega_k}{G_y} + \frac{p_s \cdot n_p \cdot \Omega_p}{G_o} + \frac{p_n \cdot n_p \cdot \Omega_p}{G_o} - \frac{p_n \cdot n_p \cdot \Omega_p}{G_y} = \frac{\varepsilon \cdot k \cdot n_k \cdot \Omega_k}{G_y} + \frac{p_s \cdot n_p \cdot \Omega_p}{G_y} \cdot \gamma_{ус} \leq m \cdot R_c,$$

$$\text{где } \gamma_{ус} = \frac{G_y}{G_o} \cdot \left(1 + \frac{p_n}{p_s} \right) - \frac{p_n}{p_s}.$$

Расчет усиления отдельных элементов ферм предварительно напряженными затяжками имеет особенности, связанные с возможностью регулирования усилий между усиливаемым элементом и затяжками. В этом случае можно в широких пределах изменять характеристики цикла нагружения усиливаемого элемента от цикла с преимущественным растяжением до цикла с преимущественным сжатием. При усилении отдельного элемента фермы затяжкой образуется локальная статически неопределимая система «стержень-затяжка», которая воспринимает то же усилие, что и элемент до усиления. Это не отражается на работе других элементов статически определимых систем. В статически неопределимых системах установка затяжки в пределах длины элемента влияет на перераспределение усилий между элемен-

тами системы из-за изменения жесткости усиливаемого элемента и его деформации при усилении, но влияние это незначительно и им при расчете усиления можно пренебречь.

Предварительно напряженными затяжками усиливают растянутые и преимущественно растянутые элементы по прочности и выносливости.

Расчет усиления на прочность обычно выполняют на основании метода классификации. При этом подбирают рациональное усилие предварительного напряжения X с тем, чтобы получить минимальную площадь брутто затяжки ω_2 , удовлетворяющую пропуску временной вертикальной равномерно распределенной нагрузки k после усиления. Уравнения, отражающие работу предварительно напряженного элемента, должны удовлетворять условиям обеспечения грузоподъемности элемента после усиления (1-е уравнение); прочности затяжки (2-е уравнение); условию совместности деформации системы «стержень-затяжка» (3-е уравнение). Эти уравнения имеют вид:

$$R_1 \cdot m_1 \cdot \omega_1 \cdot \Psi_1 + n_n \cdot X + X_1 = k' \cdot \Omega_k + p_s \cdot n_p \cdot \Omega_p;$$

$$n_n \cdot X + X_1 = R_2 \cdot m_2 \cdot \omega_2 \cdot \Psi_2;$$

$$X_1 = \frac{k' \cdot \Omega_k \cdot m_o \cdot \omega_2}{\omega_1 + m_o \cdot \omega_2}.$$

где k' – предельная временная вертикальная равномерно распределенная нагрузка для данного элемента.

$$k' = k_n + \mu \cdot K_o \cdot \varepsilon \cdot n_u,$$

где K_o – класс нагрузки после усиления; ω_1, ω_2 – площади поперечного сечения брутто усиливаемого элемента и затяжки; Ψ_1, Ψ_2 – коэффициенты ослабления сечения усиливаемого элемента и затяжки; R_1, R_2 – расчетные сопротивления металла усиливаемого элемента и затяжки; m_1, m_2 – коэффициенты условий работы усиливаемого элемента и затяжки; Ω_k – площадь положительного участка линии влияния; Ω_p – площадь линии влияния загрузки постоянной нагрузкой; ε – доля временной нагрузки, приходящейся на рассматриваемую ферму; p_s – интенсивность постоянной нагрузки, приходящейся на усиливаемый элемент: $p_s = p/N$; X – усилие предварительного напряжения; X_1 – усилие самонапряжения затяжки (дополнительное усилие в затяжке от временной нагрузки); n_n – коэффициент надежности для постоянной нагрузки; n_u – коэффициент надежности для усилия предварительного напряжения затяжки ($n_u = 1,1$ или $n_u = 0,9$); при надежном контроле усилия предварительного напряжения ($n_u = 1$); m_o – коэффициент, учитывающий различие в деформативности затяжки и усиливаемого элемента.

Сжато-растянутые элементы, работающие при преимущественном растяжении, нужно дополнительно рассчитать на сжатие в связи с тем, что созданные в них при усилении предварительные сжимающие напряжения снижают их несущую способность при работе на сжимающие усилия.

Класс элемента после усиления по сжатию

$$K_c = \frac{\omega_1 \cdot R_1}{k_{n(c)} \cdot \Omega_{k(c)}} \cdot (\varphi - x_o) \cdot (1 + z \cdot m_o),$$

где $k_{h(c)}$, $\Omega_{h(c)}$ – эталонная эквивалентная нагрузка для схемы Н1 и площадь линии влияния, соответствующая загрузке для определения сжимающего усилия в элементе; φ – коэффициент уменьшения расчетного сопротивления при продольном изгибе. Остальные обозначения приведены выше.

При классе элемента по сжатию K_c , меньшем заданного класса усиления, уменьшают усилие предварительного напряжения X .

Расчет элемента, усиленного предварительно напряженными затяжками, на выносливость отличается от расчета на прочность введением коэффициентов понижения расчетных сопротивлений для металла элемента γ_1 и затяжки γ_2 . Кроме того, при расчете на выносливость не вводят коэффициенты надежности к нагрузкам и принимают пониженные значения динамического коэффициента. Уравнения, отражающие особенности работы усиленного элемента на выносливость, имеют вид:

$$R_1 \cdot \gamma_1 \cdot \omega_1 \cdot \Psi_1 + X + X_1 = k'_a \cdot \Omega_k + p_s \cdot \Omega_p;$$

$$X + X_1 = R_2 \cdot \gamma_2 \cdot \omega_2 \cdot \Psi_2;$$

$$X_1 = \frac{k'_a \cdot \Omega_k \cdot m_o \cdot \omega_2}{\omega_1 + m_o \cdot \omega_2},$$

где $k'_a = k'_n (1 + 2/3\mu) K_{0\epsilon}$ – расчетная временная вертикальная равномерно распределенная нагрузка для рассматриваемого элемента при расчете на выносливость. Остальные обозначения даны выше.

Коэффициент понижения расчетного сопротивления металла усиливаемого элемента

$$\gamma_1 = \frac{1}{\frac{R_1}{2k_\gamma \cdot \sigma_{-1}} \cdot (a_1 - b_1 \cdot \rho_1)},$$

где k_γ – коэффициент, учитывающий рассеяние предела выносливости; a_1 , b_1 – коэффициенты, зависящие от рода металла:

$$a_1 = \frac{\beta_1}{\xi} - \Psi; \quad b_1 = \frac{\beta_1}{\xi} + \Psi,$$

β_1 – эффективный коэффициент концентрации напряжений; $\Psi = \sigma_{-1}/\sigma_b$; σ_{-1} – предел выносливости при коэффициенте асимметрии цикла $r = -1$; σ_b – временное сопротивление металла усиливаемого элемента; ρ_1 – коэффициент асимметрии цикла изменения напряжений в усиливаемом элементе.

Важное значение при проектировании усиления предварительно напряженными затяжками имеет правильный выбор исходных параметров усиления: r – соотношение прочностных характеристик материала усиливаемого элемента и затяжки; β_2 – эффективный коэффициент концентрации напряжений затяжки; упругая податливость закрепления затяжки и др.

При выборе материала для затяжки стремятся увеличить r , т.е. отдают предпочтение стали более высокой прочности. В этом случае, кроме повышения прочностных характеристик, улучшаются характеристики цикла нагружения затяжки. Затяжки целесообразно изготавливать из стержневой стали классов С60, С80; анкерное закрепление затяжек гайками наиболее предпочтительно. Для снижения эффективного коэффициента концентрации на-

пряжений резьбу выполняют методом накатки с повышенным радиусом закругления в основании резьбы.

На выносливость затяжки большое влияние оказывает упругая податливость закрепления затяжки δ_2 : чем выше податливость закрепления, тем более благоприятный цикл нагружения затяжки в связи с увеличением p_2 , а следовательно, и повышением γ_2 . На эффективность усиления оказывает влияние и доля усилия от постоянной нагрузки: по мере ее увеличения растет эффективность усиления. Поэтому усиление элементов главных ферм больших пролетов, как правило, эффективнее, чем малых.

Особое внимание при проектировании усиления предварительно напряженными затяжками нужно обращать на прикрепления усиливаемых элементов. После усиления в заклепочных и болтовых соединениях возрастут сдвиги по поверхностям контактов, что приведет к соответствующему ускорению износа и расстройству соединений. Для замедления процесса износа заклепочные соединения в усиливаемых элементах превращают в клепаноболтовые: заменяют часть заклепок в крайних поперечных рядах высокопрочными болтами. Число высокопрочных болтов определяют расчетом.

6.6 Особенности усиления и переустройства связей между главными фермами

Наиболее распространенный недостаток связей между главными фермами старых пролетных строений – недостаточная жесткость их элементов. Это приводит к провисанию связей и значительным колебаниям их, что снижает жесткость пролетных строений.

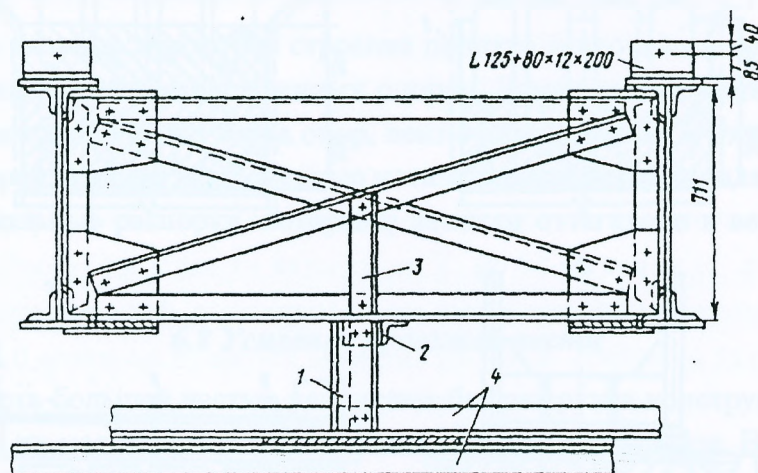


Рисунок 6.23 Усиление нижних продольных связей: 1 – уголковая подвеска, 2 – уголок-коротыш; 3 – уголок; 4 – диагонали нижних продольных связей.

Из-за колебаний связей расстраиваются их крепления и нередко в связях возникают усталостные трещины. Такие связи нужно усиливать. Гибкость элементов связей при усилении повышается (до значений, устанавливаемых техническими условиями) путем увеличения их сечений или уменьшения свободной длины. В последнем случае элементы нижних продольных связей, расположенных в уровне проезжей части, удобно прикреплять к балкам проезжей части (рисунок 6.23).

Нижние продольные связи между главными фермами для повышения жесткости прикрепляют к поперечным связям между продольными балками при помощи уголковой под-

вески, которая крепится к нижней распорке поперечных связей коротким уголком. Нижнюю распорку поперечных связей соединяют с диагоналями поперечных связей уголком.

Старые пролетные строения с ездой понизу часто не удовлетворяют современным требованиям габарита приближения строений, например при электрификации железной дороги. Поэтому для увеличения габарита по высоте переустраивают верхние продольные и поперечные связи. При небольших высотах пролетных строений переустроенные продольные и поперечные связи располагают над верхними поясами главных ферм и прикрепляют к специально устроенным для этого столикам.

6.7 Изменение отметок проезда на мостах

В мостах малых отверстий небольшое изменение уровня проезда осуществляется подъемкой пролетного строения с временных опор, после чего опоры наращивают и пролетные строения опускают на новые подферменные площадки (рисунок 6.24).

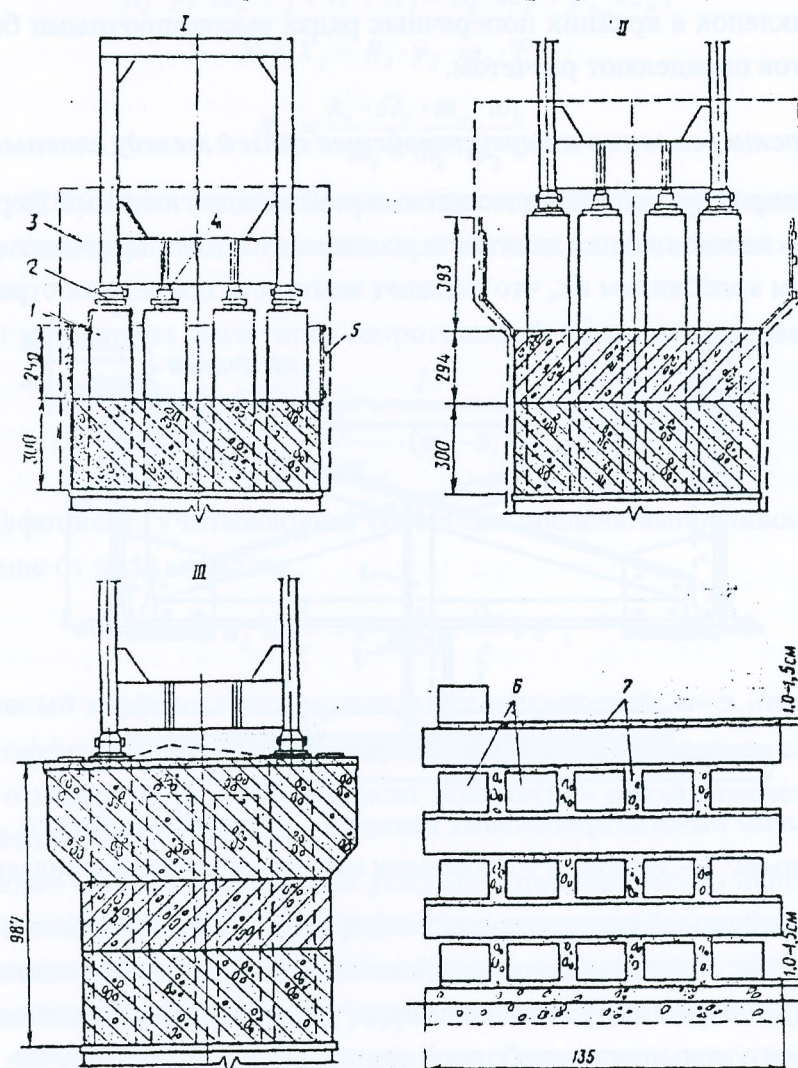


Рисунок 6.24 Схема подъемки пролетного строения и деталь клетки: I, II, III – стадии подъемки и бетонирования: 1 – клетка из железобетонных брусьев; 2 – пакет из рельсов; 3 – тепляк; 4 – гидравлический домкрат; 5 – опалубка; 6 – железобетонные брусья; 7 – цементный раствор.

При большой высоте или значительных пролетах моста подъемку выгоднее вести с существующих опор. В этом случае пролетное строение поднимают гидравлическими домкратами, установленными на клетках под опорными поперечными балками. В процессе подъема под опорными частями ферм также выкладывают клетки, на которые передают вес пролетного строения при перезарядке домкратов. В зависимости от веса пролетного строения клетки выкладывают из деревянных брусьев, обрезков рельс или прокатных балок, или из железобетонных брусьев.

Подъемка арочных пролетных строений с ездой поверху осложняется наличием распора арок, так как необходимо предварительно освободить опоры моста от горизонтальных давлений, передав распор на временные затяжки (рисунок 6.25).

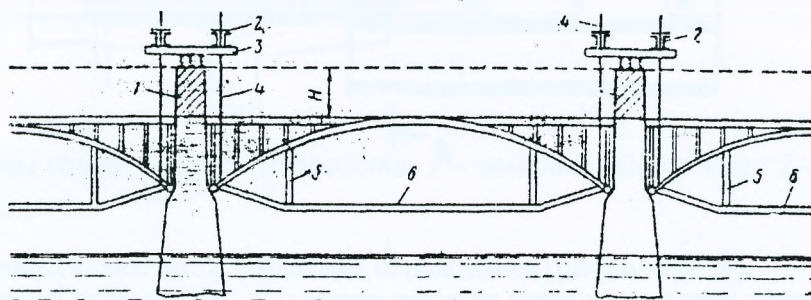


Рисунок 6.25 Схема подъемки арочного пролетного строения: 1 – наращенная часть опор; 2 – ленточный фермоподъемник; 3 – металлическая обстройка; 4 – лента; 5 – распорка; 6 – затяжка; H – высота подъема.

Как видно из рисунка, пролетное строение поднято ленточными подъемниками, расположенными на предварительно наращенных опорах. Домкраты подъемников опираются на консоли металлической обстройки верха опор, ленты присоединяли к пятам арок. В процессе подъема распор арок передан на временные металлические затяжки; для натяжения затяжек поставлены вертикальные распорки, которыми затяжки оттягивали в вертикальной плоскости.

6.8 Усиление проезжей части

Проезжую часть большей частью усиливают без разгрузки конструкций от собственного веса, так как вес их мал по сравнению с весом временных нагрузок. В некоторых случаях удастся усилить и без прекращения движения по мосту, что, однако, значительно усложняет работы.

Конструкции деревянной проезжей части (настил, поперечины и пр.) стальных мостов усиливают так же, как и деревянных. Из других типов проезжей части могут потребовать усиления плоские металлические настилы, состоящие из листов и часто поставленных прокатных балочек, а также настилы из лоткового металла, прокатных балок специального профиля (вотеренов) и других видов, встречающихся на старых мостах. Простой способ усиления листовых настилов – утолщение одежды, которым достигается распределение давлений от колес автомобилей на большую площадь листа и уменьшение в нем напряжений (рисунок 6.26).

Увеличение грузоподъемности балочек, поддерживающих листы, и настилов из прокатных балок наиболее целесообразно путем подведения под них распределительных ребер распределяющих сосредоточенные давления от колес автомобилей на большее число балочек.

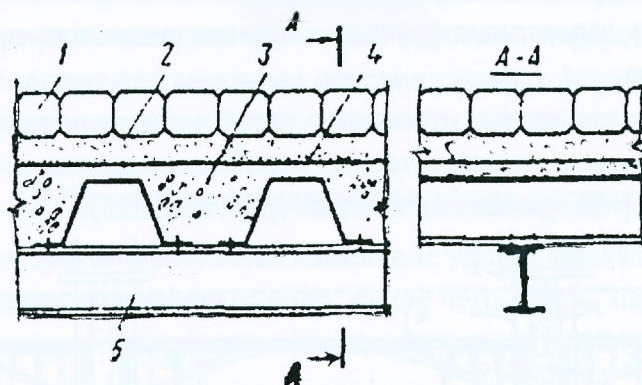


Рисунок 6.26 Усиление проезжей части из «водеренов»: 1 – брусчатая мостовая; 2 – песок; 3 – бетон; 4 – «водерен»; 5 – распределительное ребро.

6.9 Особенности реконструкции ограждающих устройств

Повышение безопасности движения на существующих мостах, прежде всего, требует устройства ограждений, препятствующих наезду автомобилей с проезжей части на тротуары.

На мостах с узкими тротуарами служебного назначения ограждающим устройством могут быть перила, которые в этом случае должны быть рассчитаны на удар автомобиля.

Специальные ограждающие устройства располагают по линии бордюров. Высота ограждений должна быть не менее 50-60 см. Конструкция их весьма разнообразна. Во всех случаях между ограждением и конструкциями моста (перилами, фермами пролетных строений с ездой понизу) следует оставлять защитные полосы шириной не менее 0,5-0,75 м, предохраняющие конструкции от ударов кузовом при крутых разворотах автомобилей (рисунок 6.27).

На мостах с монолитными железобетонными тротуарами высота бордюра может быть увеличена фасонным железобетонным брусом или на тротуар уложена плита с соответствующими бордюрами (а, б).

Вызываемое при устройстве ограждений сужение проезжей части может быть допущено при ширине ее не менее 8 м. В мостах с меньшей шириной проезжей части потребуется снижение скорости движения автомобилей или уширение проезжей части за счет сужения тротуаров.

Сборные накладные конструкции тротуаров не выдерживают удара автомобилей и сдвигаются. В этом случае можно применять накладные плиты с ограждением (в).

Ограждения могут быть монолитными или сборными. Для надежного соединения с конструкцией моста их закрепляют анкерами или укладывают на слой эпоксидного клея.

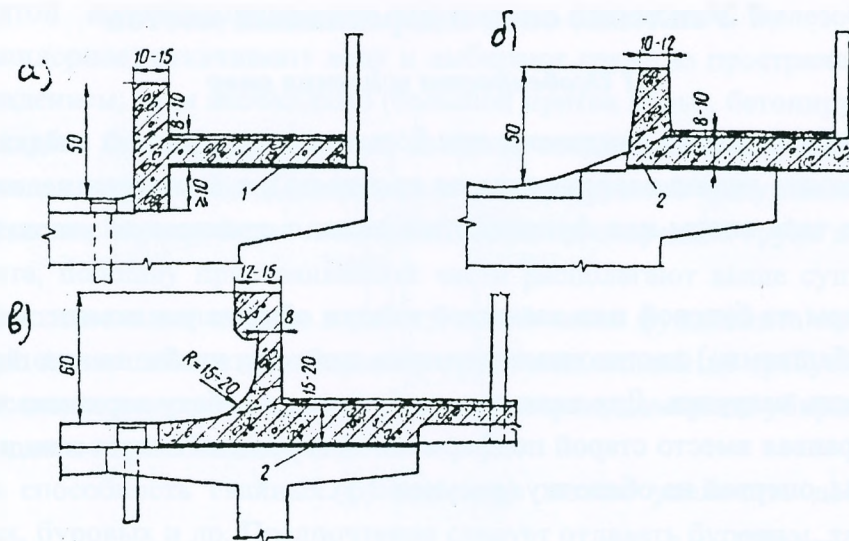


Рисунок 6.27 Схемы ограждающих устройств: 1 – цементный раствор; 2 – слой эпоксидного клея.

Иногда устанавливают металлические ограждения (рисунок 6.28).

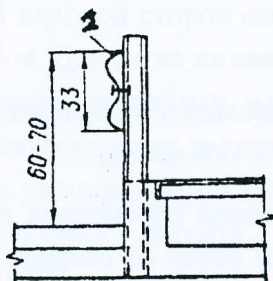


Рисунок 6.28 Схема металлических ограждающих устройств: 1 – стальная полоса.

Ограждением служит профилированная стальная полоса толщиной 2 мм, изогнутая по трем полуволам с радиусом 60 мм. Полосу шириной 330 мм закрепляют болтами за стойки из двутавров, труб или другого вида прокатного металла, расположенные по линии бордюров через 5-6 м. Стыки профилированных полос могут быть сварными или болтовыми.

7 Усиление опор и деревянных мостов

7.1 Особенности усиления опор

Опоры и их фундаменты усиливают при больших повреждениях кладки (когда мерами капитального ремонта нельзя восстановить ее прочность), а также при недостаточной несущей способности тела опоры или фундамента в связи с изменением условий эксплуатации моста.

Старые опоры из бутовой или каменной кладки обычно усиливают железобетонными оболочками («рубашками») достаточных размеров для того, чтобы на них 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 (рисунок 7.1).

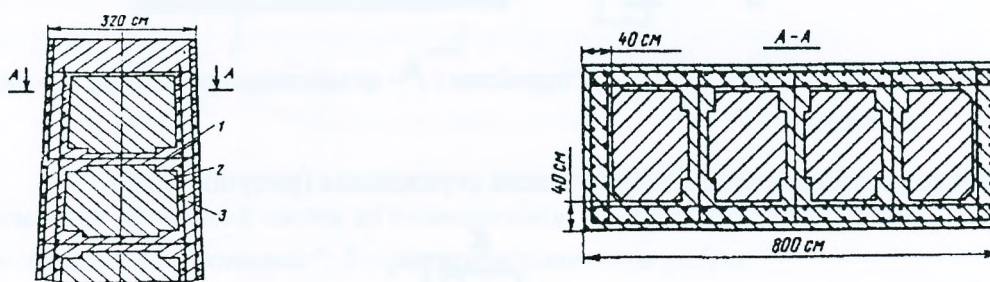


Рисунок 7.1 Усиление опоры железобетонной оболочкой: 1 – связи между стенками оболочки; 2 – кладка опоры; 3 – оболочка.

Связь оболочки со старой кладкой обеспечена постановкой анкеров и тяжей. Стенки оболочек армированы двумя рядами сеток из стержней диаметром 14 мм (вертикальные) и 10 мм (горизонтальные).

У опор старых мостов, обычно сплошное сечение на всю высоту. Поэтому в некоторых случаях, особенно при большой высоте опор, их грузоподъемность по несущей способности фундамента можно увеличить, заменив массивную верхнюю часть (выше горизонта высокой воды) более легкой конструкцией, например рамной, столбчатой и т. п.

Усиление фундаментов опор – сложный и ответственный вид работ на эксплуатируемых мостах. Фундаменты опор на естественном основании при устойчивых грунтах можно усилить путем их уширения (рисунок 7.2).

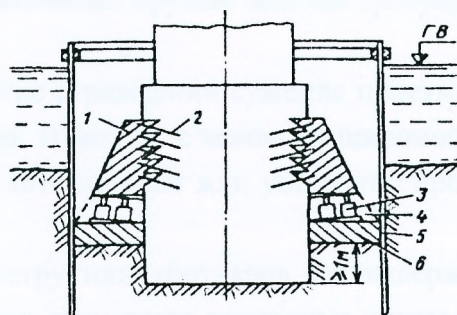


Рисунок 7.2 Усиление фундамента уширением: 1 – железобетонные консоли; 2 – анкер; 3 – дамкрат; 4 – участок, бетонируемый после обжатия грунта; 5 – шпунтовое ограждение; 6 – бетонная плита.

Под защитой водонепроницаемого ограждения (шпунтовое, железобетонное или металлическое пандорное) откачивают воду и выбирают грунт из пространства между фундаментом и ограждением; если необходимо (большой приток воды), бетонируют опорную плиту. Затем в опалубке бетонируют мощные консоли, соединяемые со старой кладкой фундамента штрабами и анкерами. Если опорная плита не сооружена сразу после выборки грунта, то ее бетонируют после устройства консолей. Чтобы не повредить грунт под подошвой старого фундамента, подошву пристраиваемой части располагают выше существующей на 1-1,5 м. Для эффективного включения в работу новой части фундамента между консолями и опорной плитой ставят домкраты, обжимают грунт под плитой до требуемых значений, затем между консолями и опорной плитой ставят распорки, домкраты убирают. Пространство между плитой и консолями бетонируют.

Несущую способность свайных фундаментов можно увеличить добавлением новых свай – забивных, буровых и др. Предпочтение следует отдавать буровым, так как их возведение не вызывает расстройств в усиливаемой опоре и ее фундаменте.

Пример усиления свайного фундамента, показанного ниже (рисунок 7.3) вызвано грубым нарушением технологических правил производства работ, в результате которого кладка плиты фундамента оказалась неудовлетворительной, а крайние сваи вышли за пределы плиты. Для усиления забито (с верхней и нижней сторон опоры) 48 железобетонных трубчатых свай диаметром 60 см и длин по 16 м. Давление на сваи передано через мощные бетонные контрфорсы, соединенные с кладкой опоры штрабами, а в нижней части объединенные железобетонным поясом. Стыки между контрфорсами и телом опоры заинъектированы цементным раствором. Железобетонный пояс расположен по контуру опоры на обресе старого фундамента. Работы велись под защитой стального шпунта.

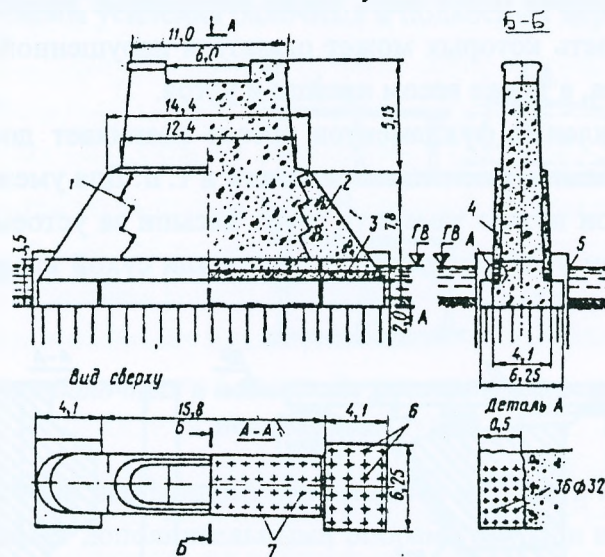


Рисунок 7.3 Усиление фундаментов: 1 – инъекционные трубки; 2 – бетонный контрфорс; 3 – железобетонный пояс; 4 – оболочка; 5 – шпунтовое ограждения; 6 – новые сваи диаметром 60 см; 7 – существующие сваи 30X30 см.

Сваями могут быть также усилены фундаменты на опускных колодцах и кессонах (рисунок 7.4). При выборе вида свай следует отдавать предпочтение буровым или набивным

сваям, так как погружение забивных свай сопровождается сотрясением усиливаемой опоры и может еще более ухудшить ее состояние.

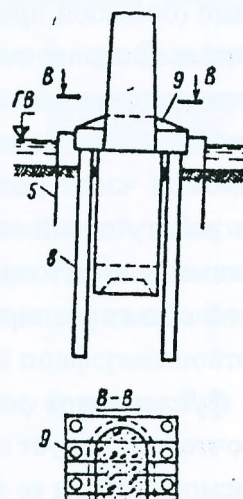


Рисунок 7.4 Усиление фундаментов на опускных колодцах: 8 – буровые сваи; 9 – железобетонные сваи (другие обозначения см. на рисунке 7.3).

Нередко возникает необходимость в усилении фундаментов устоев Устой, особенно значительной высоты (более 10-12 м), заложенные в податливых грунтах (илах, пластичных глинах и т. п.), испытывают большие горизонтальные давления со стороны насыпи. Эти давления обусловлены не только активным давлением насыпи, но и горизонтальными составляющими напряжений в толще пройденного фундаментом грунта, возникающих от ее веса. Причиной деформаций устоев могут быть также оползневые явления на береговых склонах речных долин устойчивость которых может оказаться нарушенной в результате изменении гидрологического режима, а также весом насыпи и устоя.

Необходимость усиления фундаментов устоев возникает достаточно часто из-за их смещений от давления насыпи, оползневых явления и т. п. Для уменьшения горизонтального давления насыпи на устой нужно заменить грунт насыпи за устоем крупнозернистым грунтом с большим значением угла внутреннего трения или сухой кладкой из камня, кирпича и др. (рисунок 7.5).

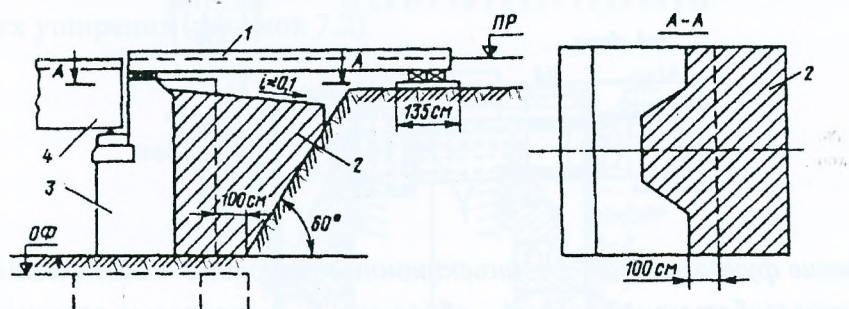


Рисунок 7.5 Устройство сухой кладки за устоем: 1 – инвентарное пролетное строение; 2 – сухая кладка; 3 – устой; 4 – пролетное строение.

В однопролетных мостах с небольшими пролетными строениями смещение устоев в пролет предотвращают устройством распорных перемычек между фундаментами устоев. Ус-

тойчивость обсыпных устоев повышают устройством контрфорсов со стороны пролетного строения распорок с упором (рисунок 7.6).

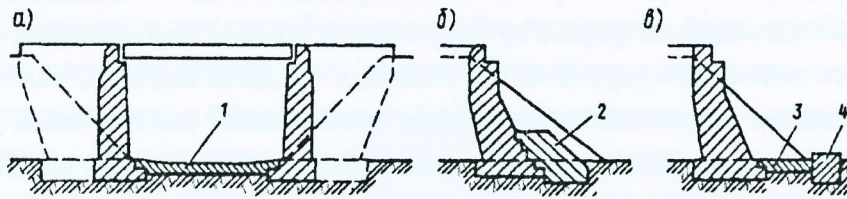


Рисунок 7.6 Усиления устоев распорной перемычкой (а), контрфорсом (б) и распоркой с упором (в): 1 – распорная перемычка между фундаментами устоев; 2 – контрфорс; 3 – распорка; 4 – упор.

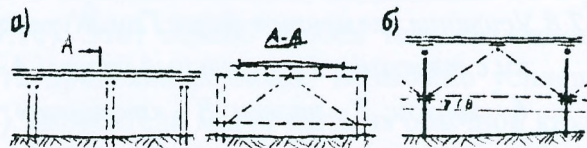
В тех случаях, когда смещения устоев вызываются оползневыми явлениями или неудовлетворительным состоянием грунтов в основании, может оказаться целесообразной постройка нового устоя с добавлением пролета, перекрывающего неустойчивый участок берегового склона. Несущую способность грунтов в основании опор повышают методами химического или электрохимического укрепления, а также цементацией, глинизацией или битумизацией.

Фундаменты опор при повышенной агрессивности воды защищают разными способами – ограждают деревянным брусчатым шпунтом, обмазывают доступные части фундамента горячим битумом, заполняют пространства между шпунтом и боковыми поверхностями фундамента плотно утрамбованной глиной и др.

7.2 Усиление деревянных мостов.

Рассмотрим общие схемы усиления балочных и подкосных деревянных мостов.

А) Балочные мосты



Б) Подкосные мосты

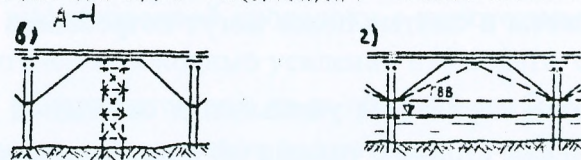


Рисунок 7.7 Схемы усиления балочных и подкосных мостов (пунктиром показаны элементы усиления).

Как видно из схем, если необходимо значительно повысить грузоподъемность прогонов, то уменьшают их пролет дополнительными опорами (а). При небольшой высоте балочных мостов может оказаться трудной забивка свай дополнительных опор из-за невозможности расположить копер под мостом. В этих случаях дополнительные опоры могут быть подкосной системы с расположением свай за пределами ширины моста.

Уменьшение пролета прогонов достигается так же превращением балочной системы в треугольно-подкосную с затяжкой (б), которую располагают выше горизонта высоких вод и

ледохода. Подкосные мосты можно усилить промежуточными опорами (в) или дополнительными подкосами (г). Для восприятия увеличенного распора подкосы соединяют затяжками.

Так как грузоподъемность ферм Гау-Журавского обычно определяется грузоподъемностью отдельных ее элементов (прочностью поясов в средних панелях, узловых подушек и т.д.), то для повышения грузоподъемности ферм часто бывает достаточным усилить только небольшое число слабых элементов конструкции. Усиливаемые элементы нужно по возможности разгружать от постоянных нагрузок с тем, чтобы после усиления они полностью включались в работу как на постоянные, так и на временные нагрузки.

Растянутые пояса ферм можно усилить стальными тяжами, закрепляя их в соседних, менее напряженных панелях. Соответствующим натяжением можно включить тяжи в работу на постоянную нагрузку (рисунок 7.8).

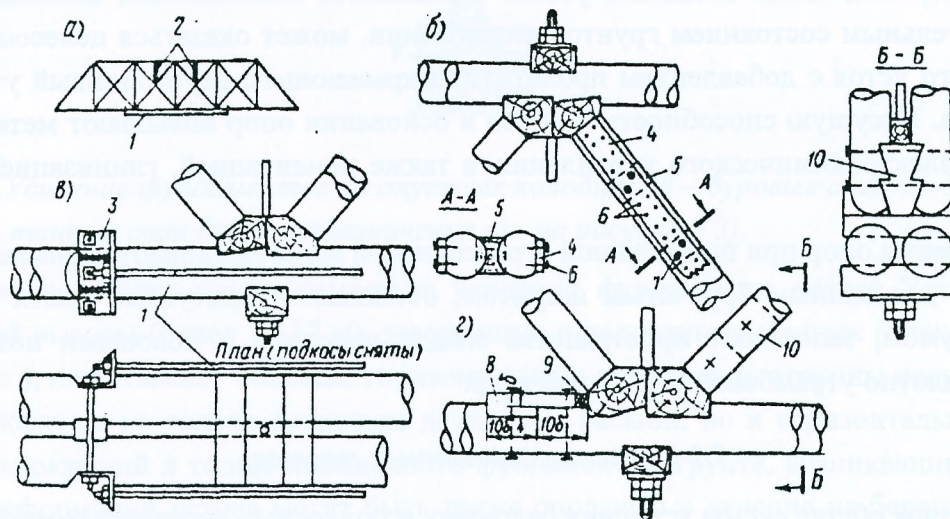


Рисунок 7.8 Усиление элементов ферм Гау-Журавского: 1 – тяж; 2 – дополнительные стойки с тяжами; 3 – стальные упоры; 4 – доски (брусья) усиления; 5 – колодка; 6 – гвозди; 7 – нагели; 8 – «топорик»; 9 – клин; 10 – коротыши.

Раскосы и сжатые пояса могут потребовать усиления по устойчивости на продольный изгиб.

В этом случае для уменьшения свободной длины поясов могут быть поставлены дополнительные стойки с тяжами (а) и дополнительные распорки в плоскости горизонтальных ветровых связей. Усиление на продольный изгиб раскосов в плоскости ферм достигается увеличением их сечений досками или брусьями, а из плоскости ферм колодками (б) или прокладками, поставленными между ветвями раскоса. Доски (брусья) и колодки закрепляют достаточным количеством гвоздей, нагелей или болтов. При усилении тяжей ставят дополнительные тяжи, конструкция которых аналогична инвентарным.

Необходимость усиления узловых подушек вызывается главным образом перенапряжениями по площади опирания прямых раскосов и недостаточной прочностью врубок подушек в пояса. Площадь опирания раскосов может быть увеличена коротышами (г), поставленными между ветвями раскосов и тщательно приторцованных к подушкам. Прочность врубок повышают «топориками», увеличивающими площади смятия и скалывания древесины. «Топорики» включают в работу дубовыми клиньями. Стыки поясов усиливают дополнительными

ми накладками (г) или тяжами (в). Накладками усиливают как сжатые, так и растянутые стыки, тяжами – только растянутые.

При необходимости усилить большое число элементов ферм прибегают к установке дополнительных опор или шпренгелей (рисунок 7.9). В пролетных строениях с ездой поверху шпренгели располагают в пределах высоты ферм, закрепляя их за верхние опорные узлы, а при езде понизу – под нижними поясами. Шпренгели делают из пучков высокопрочной проволоки с натяжением домкратами двойного действия, из тросов или круглой стали повышенной прочности.

Усиление отдельных элементов дощатых ферм (поясов, решетки) выполнить трудно, поэтому грузоподъемность таких ферм повышают то же дополнительными опорами или шпренгельными конструкциями. Дополнительную опору располагают в середине пролета ферм, а в фермах ставят над этими опорами стойки. Затем фермы поддомкрачивают и подклинивают на опоре для передачи на нее веса пролетного строения.

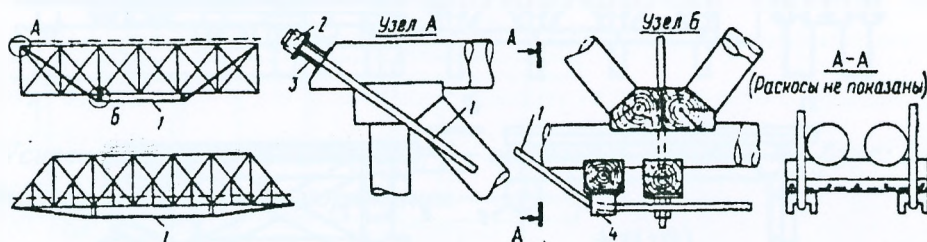


Рисунок 7.9 Усиление ферм Гау-Журавского: 1 – шпренгель; 2 – анкерная колодка; 3 – опорная балка; 4 – стальная подушка.

При большой длине панелей главных ферм поперечные балки могут быть разгружены (а), если поставить дополнительные балки в середине панелей, подвешивая их к раскосам короткими стальными тяжами (рисунок 7.10). Этот способ удобен тем, что одновременно значительно повышается грузоподъемность продольных балок. Возможно усиление поперечных балок стальными шпренгельными (б). Шпренгели могут быть из обычной круглой стали, натянутой гайками, а также из пучков высокопрочной проволоки с натяжением домкратами двойного действия. За работой шпренгелей необходимо усиленно наблюдать, особенно в первые годы после их установки, и если обнаружится, что из-за обмятий врубок и других причин, натяжение падает, то шпренгели нужно своевременно подтягивать.

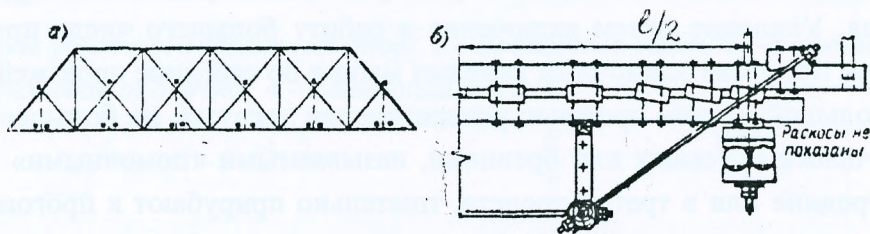


Рисунок 7.10 Усиления поперечных балок.

Настил проезжей части может быть усилен дополнительным верхним слоем досок, дощатыми или брусчатыми колеями и уменьшением расчетного пролета досок настила (рисунок 7.11).

Дополнительный настил (а) укладывают при усилении главным образом одиночных настилов для лучшего распределения давления колес автомобилей и защиты настила от истирания. Толщину досок верхнего настила следует принимать не менее 5 см. Более дешевый способ усиления – устройство колеи из досок или брусьев (б). Брусчатые колеи могут разгрузить также и прогоны; для этого стыки брусьев нужно располагать вблизи опор. Устройство колеи целесообразно для пропуска по мосту тяжелых нагрузок, имеющих одинаковое расстояние между колесами или гусеницами. Пролет досок настила может быть уменьшен дополнительными поперечинами (в), которые заводят между прогонами и настилом, тщательно подклинивают, а клинья закрепляют гвоздями.

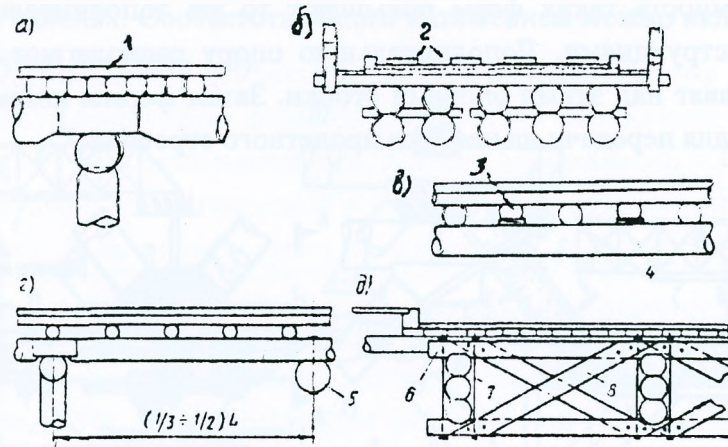


Рисунок 7.11 Усиление проезжей части и прогонов: 1 – дополнительный настил; 2 – дощатые (брусчатые) колеи; 3 – дополнительные поперечины; 4 – клинья; 5 – помочное бревно; 6 – брусчатая распорка; 7 – тяж; 8 – дощатый раскос.

Грузоподъемность поперечин автоматически повышается при усилении настилов, а также при увеличении числа прогонов (уменьшении пролета поперечин).

Усиление прогонов, кроме устройства брусчатых колеи, достигается установкой дополнительных прогонов, распределением нагрузки на большее число прогонов и уменьшением расчетного пролета прогонов.

Дополнительные прогоны устанавливаются между существующими по всей ширине моста или только на части ширины, предназначенной для пропуска тяжелых нагрузок. Эти прогоны можно укладывать снизу моста, без разборки существующей конструкции и без прерыва движения. Усиление путем включения в работу большего числа прогонов, наиболее эффективно при пропуске одиночных тяжелых машин по середине проезжей части.

При небольшой высоте прогонов распределение нагрузки на большее число их достигается поперечными брусьями или бревнами, называемыми «помочными» (г), которые располагают в середине или в третях пролета, тщательно прирубают к прогонам и закрепляют болтами. При двух-или трехъярусных прогонах могут быть установлены поперечные распределительные фермы (д). Усиление помочными брусьями и распределительными фермами рассчитывают на совместную работу прогонов как балочный ростверк.

Рассмотрим особенности усиления деревянных опор (рисунок 7.12).

Увеличение грузоподъемности насадок может потребоваться при работе их на изгиб, например, в мостах с разбросными прогонами, а также при добавлении новых прогонов. В

этих случаях насадку можно разгрузить брусьями (а), врезанными в сваи и уложенными на клинья. Можно уменьшить пролет насадки подкосами (б), но этот способ значительно сложнее в выполнении. Для увеличения площади опирания насадок ставят на сваи дополнительные коротыши (в).

Для усиления опор подкосных ригельных, трапециоидально-ригельных, арочно-подкосных мостов на увеличенный распор обычном ставят затяжки. Деревянные затяжки делают из парных бревен или пластин, охватывающих стойки опор с двух сторон и надежно соединенных со стойками при помощи врубок. Длинные затяжки могут иметь стыки, перекрытые накладками на врубках или нагелях. Чтобы не было провисания, затяжку подвешивают деревянными подвесками к верхним узлам подкосов.

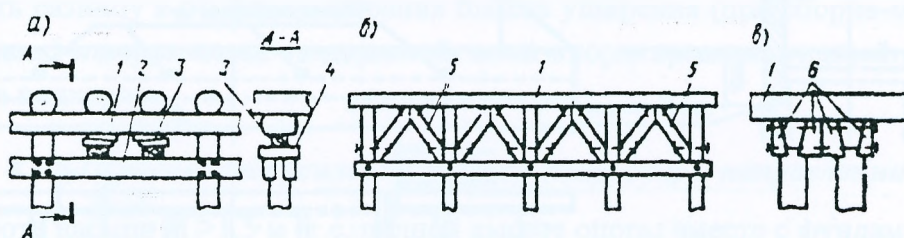


Рисунок 7.12 Усиление насадок: 1 – насадка; 2 – обвязка; 3 – клинья; 4 – брус; 5 – дополнительные подкосы; 6 – коротыши.

В мостах через крупные реки при размывах дна, возникает необходимость в усилении подводной части опор, которую усиливают установкой подводных связей и обсыпкой свай камнем (а), устройством ряжевой оболочки, (б) с каменным заполнением, заключением свай в бетонный массив (в). Выбор способа усиления зависит от состояния опоры, режима реки и других местных условий (рисунок 7.13).

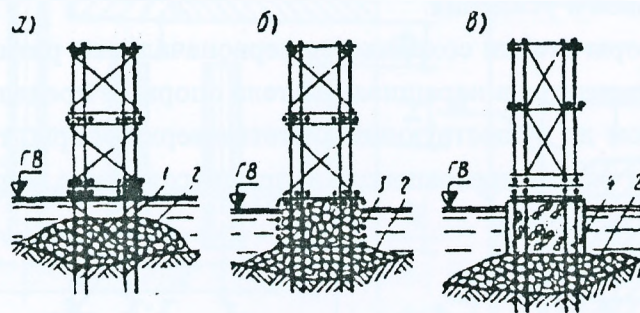


Рисунок 7.13 Схемы усиления деревянных опор: 1 – подводные связи; 2 – каменная отсыпка; 3 – ряжевая оболочка; 4 – бетонный массив.

8 Реконструкция однопролетных мостов и водопропускных труб

8.1 Особенности реконструкции однопролетных мостов

Общее конструктивное решение однопролетных четырехшарнирных мостов следующее (рисунок 8.1).

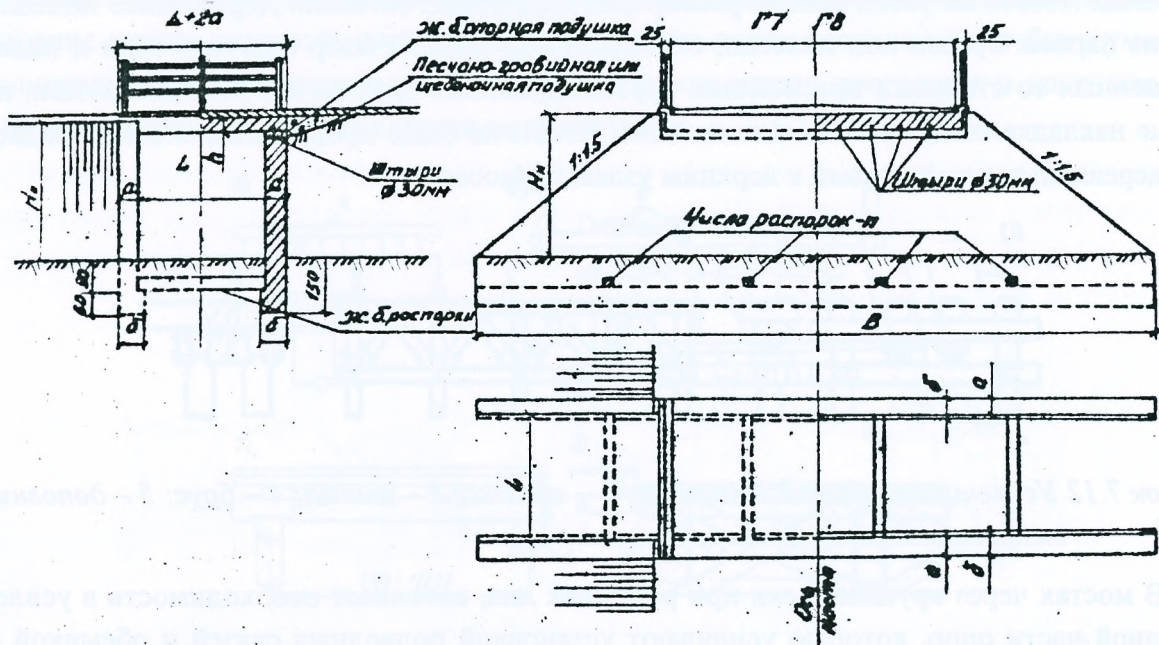


Рисунок 8.1 Конструкция однопролетных мостов.

В процессе реконструкции таких мостов опоры стенки всегда требуют обязательного уширения, а в ряде случаев и усиления.

При уширении опоры-стенки сохраняются первоначальные размеры фундаментной части. Само уширение заключается в наращивании тела опоры (в пределах ее переменной высоты) монолитным бетоном до существующей отметки верха опоры, т.е. первоначальное трапециевидальное очертание опоры превращается в прямоугольное с вертикальными торцевыми гранями (рисунок 8.2).

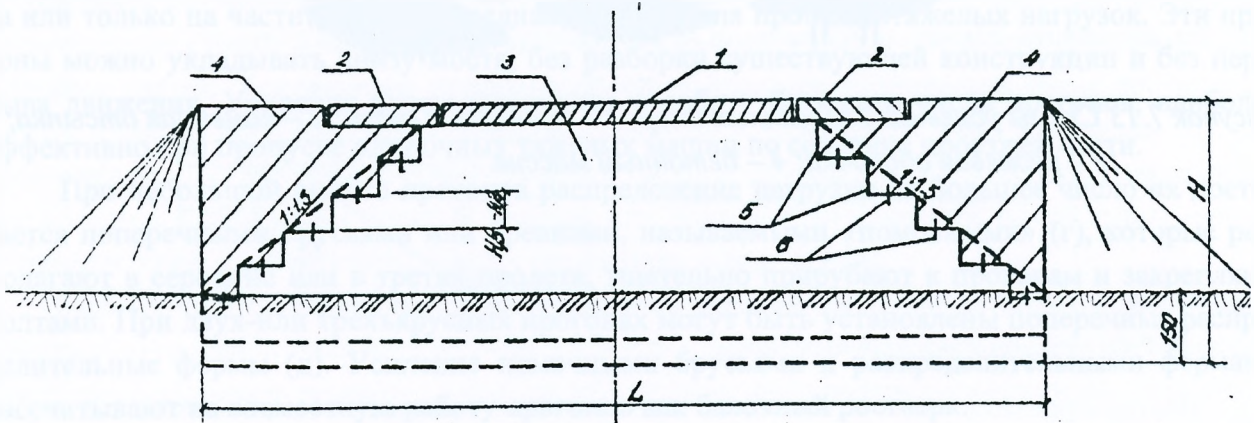


Рисунок 8.2 Уширение опоры-стенки без усиления (открылки условно не показаны): 1 – существующее пролетное строение; 2 – уширенная часть пролетного строения;

3 – существующая опора; 4 – уширенная монолитным бетоном (В20-В25) часть опоры; 5 – штрабы в существующей опоре; 6 – металлические штыри.

Уширение опоры-стенки производится следующим образом:

- откосные крылья опор разрабатываются в виде штраб с высотой уступа ($1/5 \dots 1/6 H$);
- в полках штрабе перфорируются отверстия глубиной 10...15 см с последующей установкой в них арматурных стержней $\varnothing 22 \dots 30$ см длиной 20...50 см;
- устанавливается щитовая опалубка и выполняется бетонирование наращиваемой части опоры.

При уширении опоры применяется бетон класса не ниже В20.

При разработке существующего тела опоры и бетонировании наращиваемой части следует учитывать разницу в отметках опирания блоков уширения (при сборно-монолитном варианте уширения) и верха вновь создаваемой части опоры предназначенной для удержания грунта насыпи подходов.

8.1.1 Особенности усиления опоры в поперечном направлении

При высоте насыпи $H > 1,5$ м (т.е. полной высоте опоры вместе с фундаментной частью $H > 3,0$) опора-стенка требует усиления в поперечном направлении для восприятия действия горизонтальных нагрузок.

Возможны следующие способы усиления:

А) Усиление выполняется одновременно с уширением опоры. Усиление заключается в устройстве железобетонных ребер с внутренней стороны опоры. В этом случае ребра усиления располагаются со стороны растянутой грани опоры (рисунок 8.3).

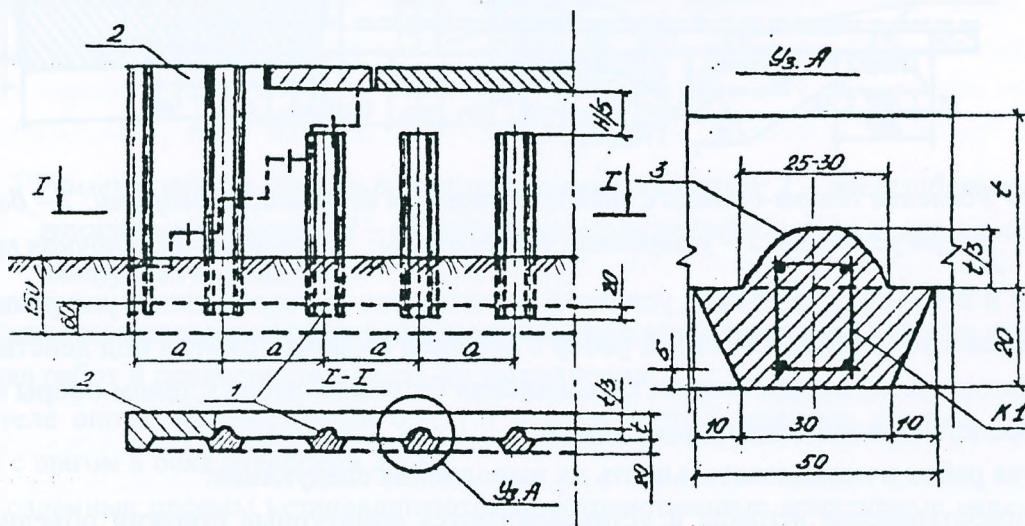


Рисунок 8.3 Усиление опоры-стенки с внутренней стороны железобетонными ребрами: 1 – железобетонные ребра усиления; 2 – уширенная часть опоры; 3 – канал в существующем теле опоры.

Мероприятия по усилению включают в себя:

- разработку штраба в отключных частях опоры-стенки с установкой в вырубленные отверстия полок штрабов арматурных стержней;

– разработку в бетоне тела опоры по всей длине вертикальных каналов шириной 25...30 см и глубиной равной 1/3 толщины стенки;

– установку в проектное положение арматурных каркасов длиной 80...120 см таким образом, чтобы два из четырех арматурных стержней располагались в полости канала, а концы каркасов заводились в полости организованные в фундаментном уступе;

– одновременное бетонирование уширенной части опоры и ребер усиления, причем ребра для удобства проведения работ могут бетонироваться по высоте в несколько этапов.

Требуемые размеры ребер усиления: высота – 20 см, ширина в месте примыкания к опоре – 50 см, по фасаду – 30 см.

Данная конструкция усиления может применяться при любой высоте опор за счет изменения шага ребер и армирования.

Б) Усиление бетонными ребрами с внешней стороны опоры-стенки (рисунок 8.4).

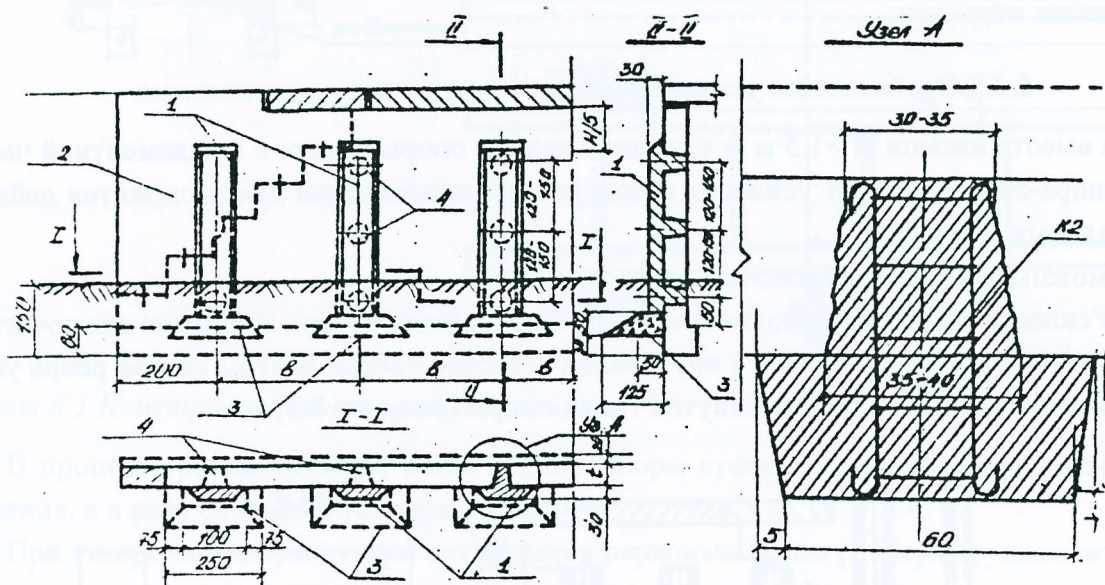


Рисунок 8.4 Усиление опоры-стенки с внешней стороны бетонными ребрами: 1 – бетонные ребра усиления; 2 – уширенная часть опоры; 3 – опорная щебеночная призма.

Как и в предыдущем случае, усиление выполняется одновременно с уширением опоры и заключается в устройстве бетонных ребер с внешней стороны (сжатой под действием горизонтальных нагрузок) опоры-стенки. Объединение бетонных ребер с телом опоры осуществляется посредством железобетонных шпонок.

Состав работ и последовательность их выполнения следующие:

– разрабатываются штрабы и устанавливаются арматурные стержни объединения существующей опоры с наращиваемой частью;

– удаляется грунт насыпи с внешней стороны опоры (в местах расположения ребер), при этом удаление грунта должно выполняться последовательно, первоначально с одной стороны от продольной оси моста у обеих стенок, а после устройства ребер и восстановления насыпи подхода – с другой стороны от оси моста, т.к. при одновременном обнажении опор-стенок или полного удаления грунта со стороны одной из них возможна общая потеря сооружением устойчивости;

- в теле опоры вырубается сквозные проемы диаметром 30...40 см с шагом по высоте 1,2...1,5 м; расстояние по длине опоры между осями ребер от 2,0 до 4,0 м;
- в сквозные проемы устанавливаются арматурные каркасы, имеющие отгибы;
- для опирания ребер организуется щебеночная призма толщиной до 0,5 м с обязательной утрамбовкой и заливом цементным раствором;

Как и предыдущем варианте усиления, бетонирование ребер по высоте можно выполнять в несколько этапов.

В) Усиление опоры-стенки разгружающими консолями (рисунок 8.5).

Сущность усиления заключается в создании разгружающих железобетонных консолей в фундаментной части опоры с ее внешней стороны, что позволяет уменьшить величину изгибающего момента в сечениях стенки. Конструкция рациональна при высоте опоры $H \leq 4,0$ м.

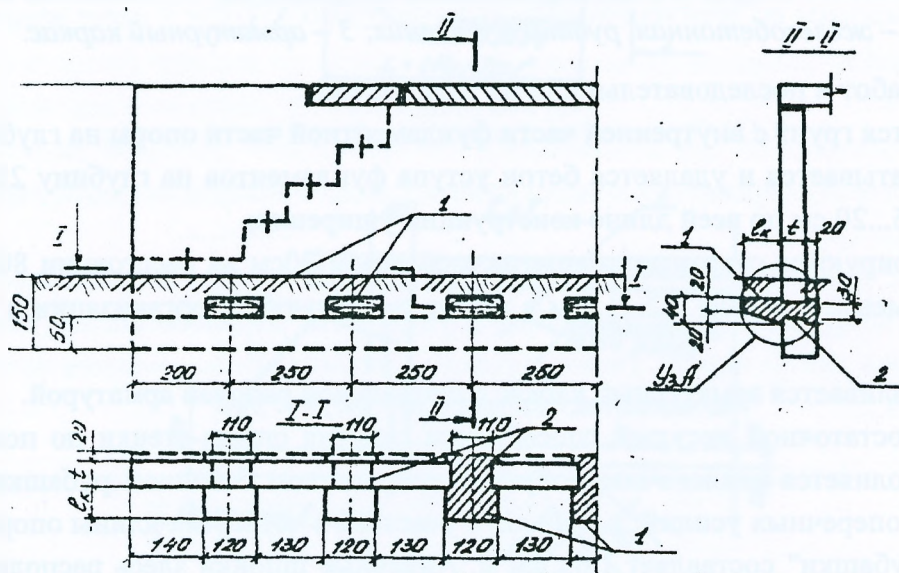


Рисунок 8.5 Усиление опоры-стенки разгружающими консолями: 1 – железобетонные разгружающие консоли; 2 – анкерка консоли железобетонной шпонкой; 3 – арматурный каркас.

Усиление может выполняться как одновременно с уширением, так и после него.

Состав работ и последовательность их выполнения:

- в теле опоры на расстоянии 0,8...1,0 м вырубается сквозные проемы с размерами 110x30 см с шагом в осях отверстий 2,5 м;
- в созданные проемы устанавливаются пространственные арматурные каркасы с продольной рабочей арматурой;
- устанавливается опалубка консольных плит и производится бетонирование.

8.1.2 Усиление опор в продольном направлении

При недостаточной прочности по изгибающему моменту усиление выполняется в фундаментной части опоры посредством устройства железобетонной "рубашки" с внутренней стороны опоры (рисунок 8.6).

Конструкция усиления располагается на участке наибольшего изгибающего момента, т.е. в средней части равной $1/3$ длины опоры.

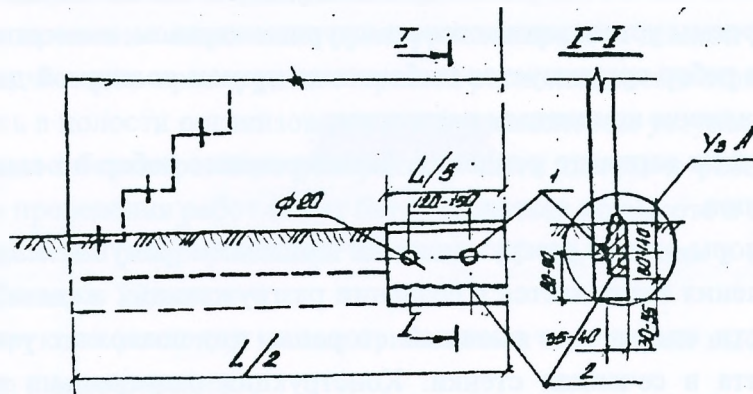


Рисунок 8.6 Усиление опоры-стенки в продольном направлении: 1 – бетонная шпонка; 2 – железобетонная рубашка усиления; 3 – арматурный каркас.

Состав работ и последовательность их выполнения:

- удаляется грунт с внутренней части фундаментной части опоры на глубину 1,2...1,3 м;
- разрабатывается и удаляется бетон уступа фундаментов на глубину 25...30 см и опоры-стенки – 15...20 см по всей длине конструкции уширения;
- перфорируются сквозные отверстия диаметром 20 см на расстоянии 80...90 см от подошвы фундамента с шагом 1,2...1,5 м с целью последующей организации в них бетонных шпонок;
- устанавливается арматурный каркас с продольной рабочей арматурой.

При недостаточной несущей способности сечения опоры-стенки по поперечной силе усиление выполняется аналогичным образом посредством бетонной рубашки" на участках наибольших поперечных усилий, т.е. на двух участках в четвертях длины опоры. В этом случае высота "рубашки" составляет 1,6...2,0 м. Анкерные шпонки здесь располагаются в двух уровнях по высоте с расстоянием в осях 1,2...1,5 м, при том же их шаге по длине. Глубина разработки бетона опоры и фундаментного уступа до 15 см. Длина "рубашки" составляет 2,0...2,5 м. Конструкция усиления в этом случае не армируется.

8.1.3 Особенности устройства открылков при реконструкции мостов

Конструкция уширения опоры-стенки в своей плоскости предполагает установку открылков для удержания откосов насыпей подходов. Используются 2 варианта установки открылков: перпендикулярно к внешней стороне опоры-стенки и под углом к ней. Открылки представляют собой независимые от опоры конструкции с собственным фундаментом, отделенным от опоры.

Открылки устанавливаются под углом к опоре ($\gamma = 30^\circ \dots 45^\circ$) при постоянных водотоках, т.к. создают более благоприятные условия для протекания потока. Вариант открылков с примыканием под прямым углом целесообразен при высоте насыпи более 2,0 м ввиду большей устойчивости за счет пригрузки разбитого в сторону насыпи уступа фундаментной части открылка.

Конструкция открылков выполняется из монолитного бетона класса В20. Заглубление фундаментной части открылков производится до отметки фундамента существующей опоры-отенки (1,5 м). Длина и высота открылков определяется высотой и уклоном насыпи подходов (рисунок 8.7).

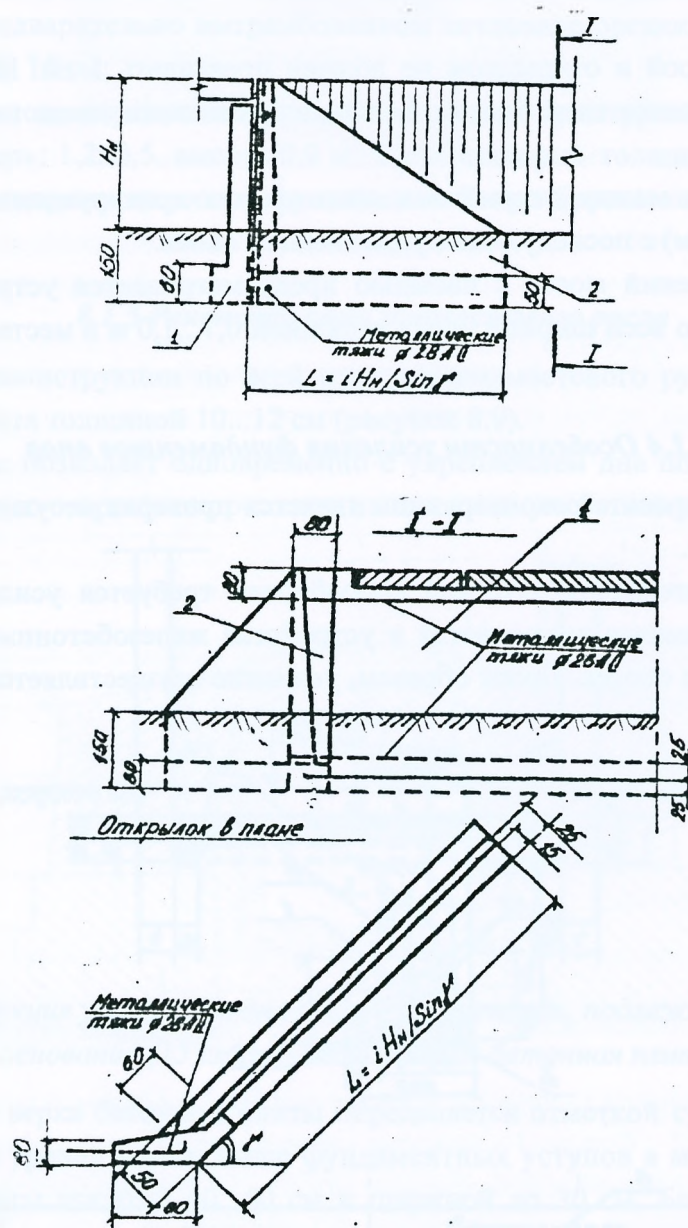


Рисунок 8.7 Конструкция монолитного открылка (вариант – примыкание под углом α к опоре): 1 – опора-стенка; 2 – монолитный открылок; 3 – металлические тяжи.

Устойчивость открылков обеспечивается: заглублением фундаментной части в грунт постановкой металлических тяжей в двух уровнях, связывающих открылки между собой в поперечном направлении, устройством уширенного ребра (0,8 м) открылка в месте примыкания его к опоре, развитием уступа фундамента со стороны насыпи (для варианта открылка перпендикулярного опоре-стенке).

Устройство открьлков производится после уширения опоры-стенки. Дно котлована под открьлки утрамбовывается с укладкой слоя щебня толщиной 5...10 см. Удаление грунта из котлована производится последовательно, первоначально у одной опоры, а после устройства открьлков и обратной засыпки, у другой опоры.

В фундаментной и верхней частях открьлков устанавливаются металлические тяжи с отгибами

Зазор между опорой и открьлком не должен превышать 1 см. На внутренние грани опоры открьлков наносится слой битума. Металлические тяжи также подлежат обмазке битумом.

Обратная засыпка между открьлками выполняется дренирующим грунтом послойно (толщина слоя 0,3...0,5 м) с последующим уплотнением слоев.

В местах сопряжений моста с насыпью предусматривается устройство щебеночной клиновидной призмы по всей ширине моста толщиной 0,7...1,0 м в месте примыканий к опоре и длиной 2...3 м.

8.1.4 Особенности усиления фундаментов опор

Обязательным в проекте реконструкции является проверка несущей способности фундамента опор по грунту.

В случае недостаточности несущей способности требуется усиление фундаментной части. Усиление фундамента заключается в устройстве железобетонных «шпор» с шагом, равным четверти длины опоры. Таким образом, усиление осуществляется четырьмя «шпорами» (рисунок 8.8).

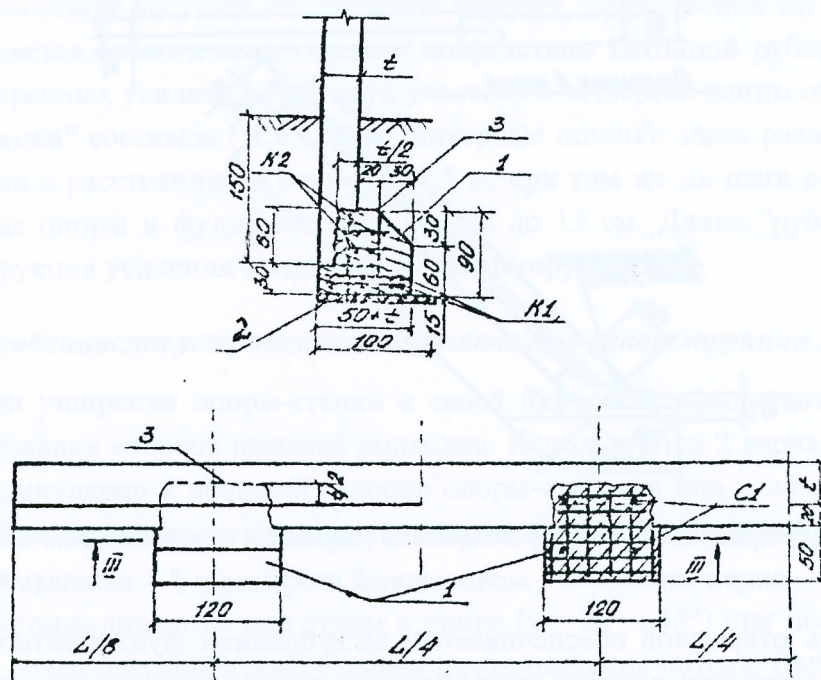


Рисунок 8.8 Усиление фундамента опор-стенок железобетонными шпорами: 1 – железобетонная шпонка; 2 – щебеночное основание; 3 – выкол бетона фундаментной части опоры.

Состав работ и последовательность их выполнения:

- удаляется грунт в мостах расположения конструкций усиления;
- вырубаются проемы в фундаментной части опоры на глубину, равную половине ее толщины и срубаются уступы фундаменте на участках 1, 0 м;
- дорабатывается дно котлована на 0,4 м ниже подошвы фундамента;
- по дну в предварительно вытрамбованном котловане организуется щебеночная «подушка» толщиной до 15 см;
- устанавливается в вертикальное положение четыре арматурных стержня.

Размеры «шпор»: 1,2x0,5, высота 0,9 м. Часть «шпоры» толщиной 0,3 м заводится под фундамент на всю ширину подошвы фундамента. Класс бетона конструкции усиления не ниже В20.

8.1.5 Реконструкция подмостового русла

В процессе реконструкции по всей площади подмостового русла устраивается монолитная бетонная плита толщиной 10...12 см (рисунок 8.9).

Такое решение позволяет одновременно с укреплением дна подмостового русла передать усилия распора со стороны опор-стенки на создаваемую бетонную плиту.

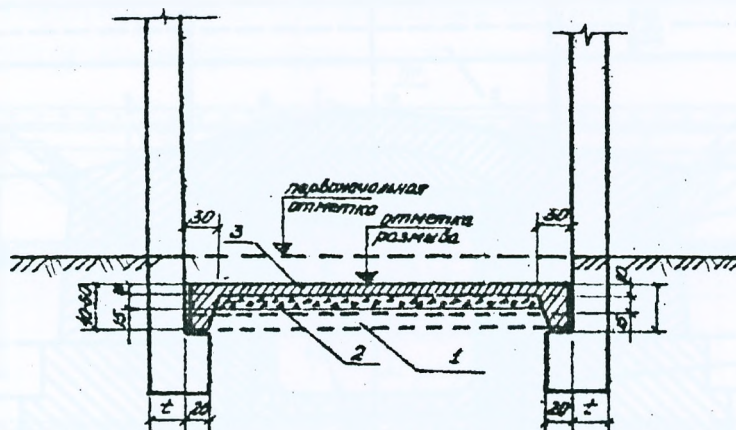


Рисунок 8.9 Конструкция укрепления дна русла: 1 – распорки, подлежащие замене; 2 – щебеночное основание (15 см); 3 – монолитная бетонная плита.

Расположение верха бетонной плиты определяется отметкой существующего размыва русла. Для подъема уровня плиты выше фундаментных уступов в местах опирания организуются бетонные вуты высотой 40...60 см и шириной до 30 см. Бетон монолитной плиты В15-В20.

Состав работ и последовательность их выполнения:

- удаляется грунт до уровня фундаментных уступов. Существующие распорки извлекаются;
- по всей подмостовой площади (за исключением участков у опор шириной 30...40 см) укладывается слой щебня толщиной до 15 см с последующим его уплотнением;
- производится первоначально бетонирование вутов плиты, после чего бетонируется сама плита, при этом отметка верха плиты соответствует отметке размыва.

Для предотвращения размывов на выходном участке бетонная плита продлевается на 2...3 м за открылки. При наличии регулярного водотока устройство плиты выполняется в несколько этапов. Устраивается грунтовая перемычка по оси русла с целью отвода потока и производится бетонирование обезвоженной части русла. Затем, после направления потока по реконструированной части русла, организуется плита со стороны второй опоры.

8.2 Особенности реконструкции мостов переустройством их в трубы

Распространенный вид переустройства мостов – замена их водопропускными 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. 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 (рисунок 8.10).

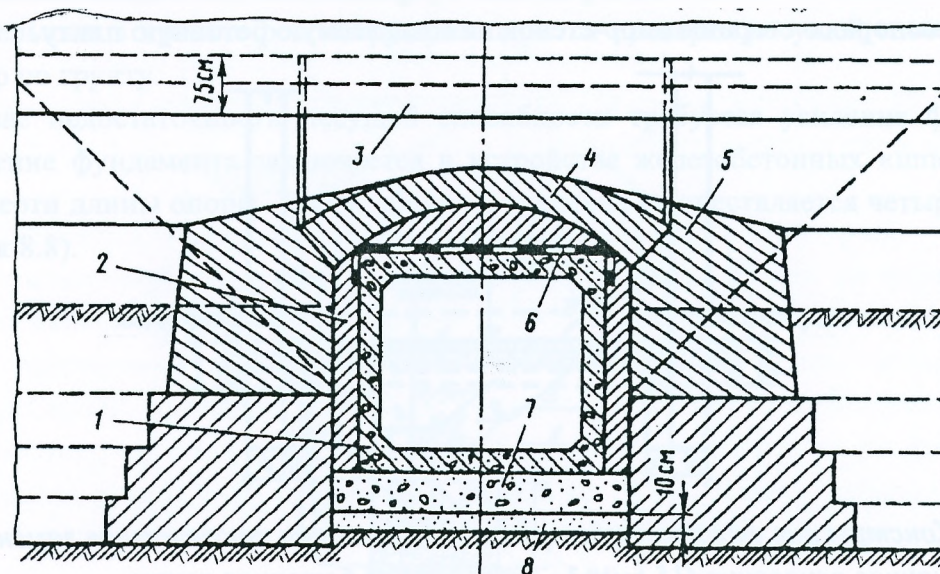


Рисунок 8.10 Переустройство каменного моста в трубу: 1 – прямоугольная железобетонная труба; 2 – бетон; 3 – щековые стенки моста, разбираемые на высоту 75 см; 4 – свод переустраиваемого моста; 5 – каменная кладка; 6 – гидроизоляция трубы; 7 – фундамент трубы; 8 – щебень.

Бетонные блоки фундаментов под трубу и оголовки укладывают на уплотненную щебенистую подготовку толщиной не менее 10 см. Если непосредственно под мостом такие блоки уложить трудно, то на 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.

Рассмотрим также и схему замены малого балочного железобетонного моста трубой (рисунок 8.11).

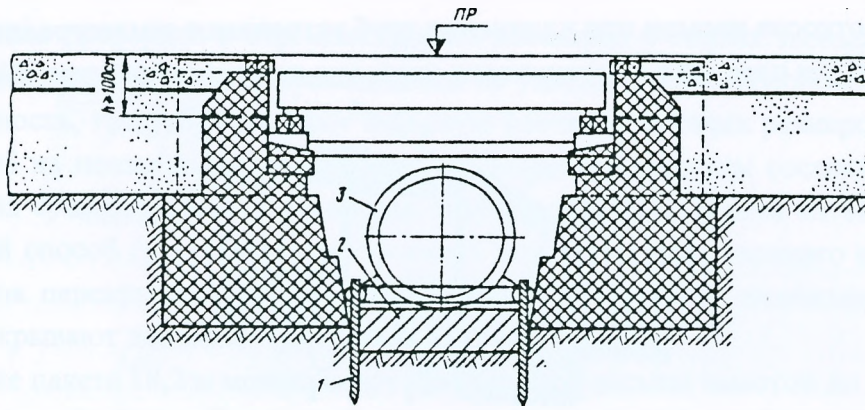


Рисунок 8.11 Замена малого балочного моста трубой: 1 – шпунтовое ограждение; 2 – фундамент трубы; 3 – труба.

Устройство шпунтового ограждения котлована под фундамент трубы, укладку фундамента, звеньев трубы, их изоляцию и отсыпку насыпи по концам трубы можно выполнить без прекращения движения. Для этого используют разгрузочный пакет (ПР). Однако, в практике чаще всего делают объезд.

Рассмотри и особенности реконструкции деревянного моста в железобетонную трубу (рисунок 8.12).

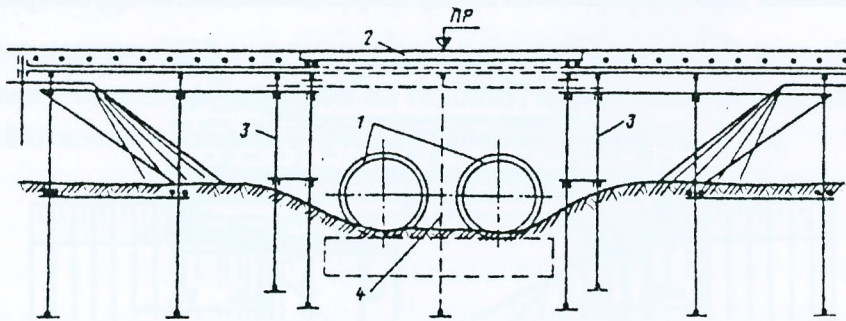


Рисунок 8.12 Переустройство деревянного моста в железобетонную трубу: 1 – труба; 2 – разгрузочный пакет; 3 – дополнительная опора (рама); 4 – опора моста, удаляемая до сооружения трубы.

8.3 Реконструкция водопропускных труб

Наиболее распространенный вид реконструкции водопропускных труб – переустройство оголовков, удлинение труб, увеличение их водопропускной способности. В ряде случаев возникает необходимость в устройстве новых труб под существующими насыпями или замене старых труб новыми.

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. 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 землеоградительные стенки. Удлиняют трубы без перерыва и ограничения скорости движения (рисунок 8.13).

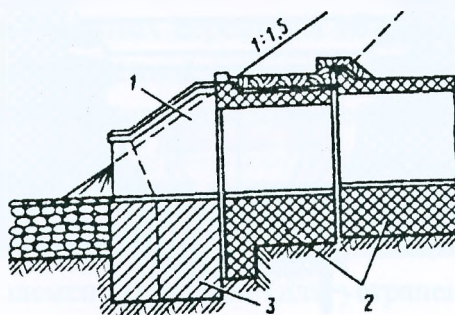


Рисунок 8.13 Удлинение трубы: 1 – новый оголовок; 2 – старая кладка фундамента; 3 – новая кладка.

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 (рисунок 8.14).

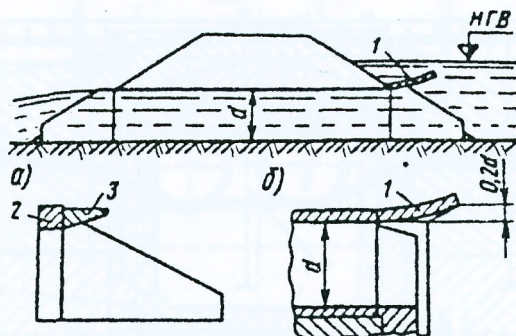


Рисунок 8.14 Переустройство необтекаемого входного оголовка трубы: а – сооружение обтекаемой перемычки; б – то же открылка (козырька); 1 – открылок (козырек); 2 – старая перемычка не обтекаемого оголовка; 3 – дополнительная (сооружаемая) обтекаемая перемычка.

Оголовки также переустраивают и при недостаточной длине трубы, увеличении водопрпускной 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.

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 (а) – насыпь раскрывают под углом естественного откоса затем раскрытый участок перекрывают временным мостом, состоящим из инвентарного пролетного строения, и открывают движение (рисунок 8.15).

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 (б).

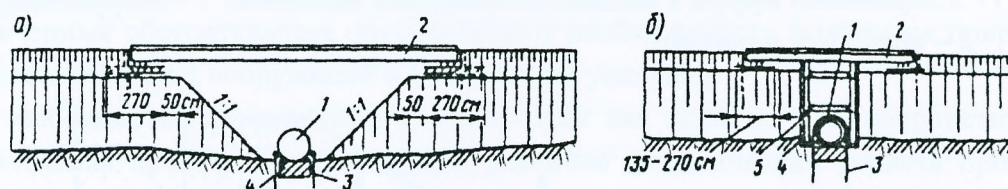


Рисунок 8.15 Устройство трубы в насыпи открытым способом (а) и в прорези (б): 1 – сооружаемая труба; 2 – инвентарное пролетное строение; 3 – шпунт; 4 – фундамент трубы; 5 – распорка.

При высоте насыпи 8-10 м рекомендуется комбинированный способ: верхнюю часть насыпи раскрывают открытым способом на глубину, определяемую длиной имеющегося пакета и крутизной откосов, а нижнюю проходят прорезью (рисунок 8.16).

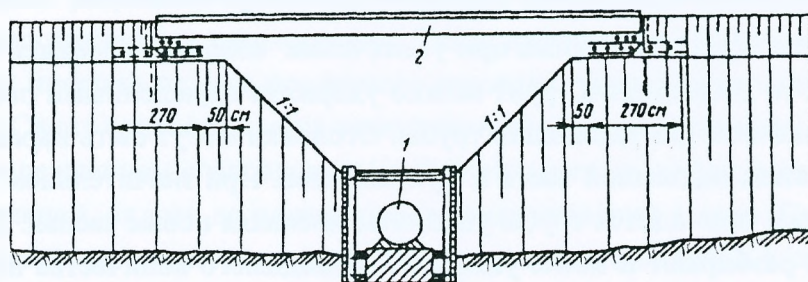


Рисунок 8.16 Устройство трубы в насыпи комбинированным способом: 1 – сооружаемая труба; 2 – инвентарное пролетное строение.

В насыпях выше 10 м трубы сооружают с проходкой насыпи штольневый или щитовым способом, а также продавливанием (рисунки 8.17 и 8.18).

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.

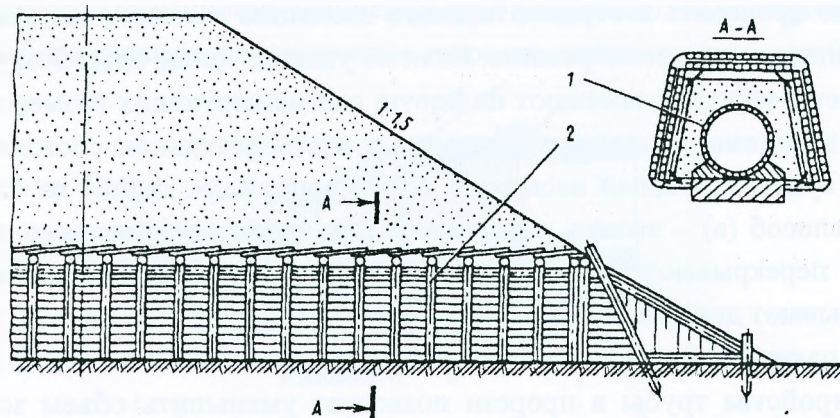


Рисунок 8.17 Устройство трубы в насыпи штольневым способом: 1 – сооружаемая труба; 2 – крепление штольни.

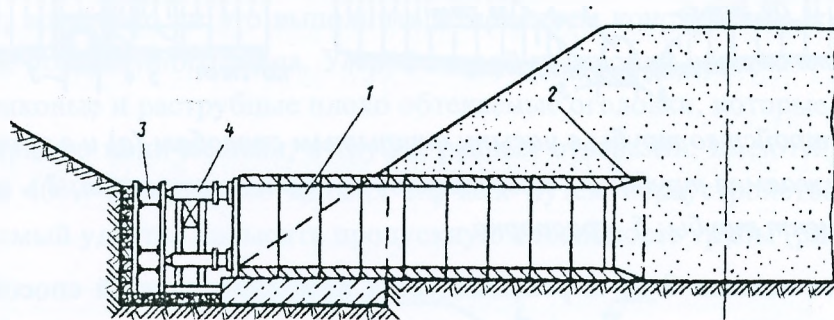


Рисунок 8.18 Устройство трубы в насыпи способом продавливания: 1 – звенья трубы; 2 – металлический нож; 3 – упорная рама; 4 – домкраты.

Реконструкция труб необходима при увеличении ширины проезжей части. Если уширение небольшое, то досыпанный грунт можно удержать наращенными оголовками и новыми откосными крыльями без удлинения трубы. Оголовки могут быть наращены без утолщения или с утолщением надземной части и фундаментов. При значительном уширении земляного полотна дороги приходится трубы удлинять, добавляя новые звенья. Для этого существующие оголовки разбирают и после укладки необходимого количества новых звеньев возводят (рисунок 8.19).

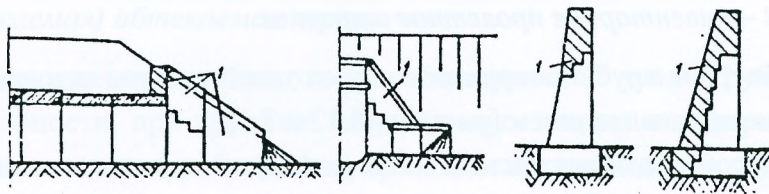


Рисунок 8.19 Реконструкция труб при уширения насыпей и детали наращивания откосных крыльев: 1 – пристраиваемая часть.

9 Особенности реконструкции мостов в сейсмических районах

9.1 Особенности сейсмического воздействия на мосты

Более 20% автомобильных дорог стран СНГ и в мире вообще расположено в сейсмических районах. Большинство искусственных сооружений на этих дорогах запроектировано без учета сейсмических воздействий и не удовлетворяет требованиям сейсмостойкости. Опыт прошлых землетрясений показывает, что пренебрежение требованиями сейсмостойкости приводит к тяжелым последствиям. Кроме того, помимо серьезных повреждений при сильных землетрясениях искусственные сооружения накапливают повреждения от сравнительно слабых, но часто повторяющихся сейсмических толчков. Это приводит к снижению их надежности и долговечности.

Отмеченные обстоятельства обуславливают необходимость выявления повреждений, а также не сейсмостойких сооружений и способов их усиления.

Ряд особенностей конструкции мостов, таких как наличие большепролетных элементов, значительная протяженность в плане, различие динамических свойств пролетных сооружений и опор, давление грунта на устои, способствуют своеобразию их поведения при землетрясениях.

Анализ разрушений мостов показывает следующие наиболее характерные повреждения конструкций мостов при землетрясениях: сдвиг пролетных строений по опорным площадкам или падение их с опор, разрушение опор, влекущее за собой полное или частичное обрушение моста. Сами пролетные строения (если они не сброшены с опор) обычно повреждаются незначительно.

Сдвиг больших разрезных пролетных строений по опорной площадке является одним из наиболее распространенных повреждений. Такая деформация, вызываемая действием горизонтальных сил инерции от веса пролетного строения, усиливается направленными вверх силами инерции. Сдвиг сопровождается заклиниванием или разрушением опорных частей и их креплений, повреждением оголовков опор. При сильных землетрясениях он может достигать больших значений, вплоть до падения пролетных строений с опор. При высоком расположении центра тяжести пролетного строения причиной его падения с опор может быть и опрокидывание поперек моста.

Падение с опор балочных неразрезных пролетных строений мало вероятно и практически не наблюдалось.

При заклинивании катков подвижных опор происходит разрушение неподвижных опорных частей, вырывание или срез крепящих их анкерных болтов.

Повреждения пролетных строений от сейсмических нагрузок нередко наблюдаются одновременно с повреждением опор. Под действием сейсмических сил, возникающих в основании, могут произойти перемещения опор относительно первоначального их положения, которые бывают значительными, нарушают прямолинейность продольной оси конструкции и приводят к деформациям пролетных строений моста.

Деформациями, характерными для промежуточных опор, являются осадки и наклоны. Отмечались также подъем опор и поворот в горизонтальной плоскости. Такие перемещения

опор в большинстве случаев наблюдаются при фундаментах на естественном основании и на висячих сваях, заложенных в слабых грунтах.

Промежуточные опоры часто получают повреждения от ударов, возникающих при падении пролетных строений. Характерным при этом являются разрушение оголовков, появление трещин в теле опоры, раскрытие швов и др.

При непосредственном воздействии инерционных сил на опору может произойти нарушение целостности кладки со сдвигом тела опоры в средней части ее высоты по горизонтальному шву как вдоль, так и поперек моста. В некоторых случаях сдвиг сопровождается поворотом части опоры в горизонтальной плоскости.

Для устоев наиболее характерной деформацией является смещение его в сторону пролета, при котором возникают продольные сжимающие усилия в пролетных строениях моста, вызывающие повреждения связей. Перемещения устоев в продольном направлении моста часто сопровождаются наклоном и оседанием промежуточных опор.

Перемещения устоев вызываются сейсмическим давлением грунта на их заднюю грань, инерционными силами пролетного строения и опор, скольжением наклонно залегающих пластов основания и другими явлениями. Эти перемещения часто достигают значительных размеров и могут привести к полному разрушению устоев. При этом повреждаются пролетные строения, разрушаются шкафные стенки устоев и возможно их опрокидывание.

Из приведенного выше перечня повреждений видно, что для балочных мостов наиболее частыми и опасными являются повреждения опор, которые обычно влекут за собой выход из строя моста в целом. Отсюда следует, что при оценке сейсмостойкости мостовых сооружений основное внимание должно быть уделено опорам.

Анализ сейсмических повреждений дорожных сооружений показывает, что они вызываются следующим комплексом причин:

- горизонтальными сейсмическими силами, возникающими при колебаниях сооружения. Эти силы являются основной причиной разрушения сооружений, так как они вызывают сдвиг и падение с опор пролетных строений мостов и разрушение опор;

- сейсмическим боковым давлением грунта на устои. Этот фактор играет решающую роль при повреждении устоев;

- вертикальными сейсмическими силами, вызванными вертикальной сейсмической компонентой колебаний грунта. Эти силы оказывают обычно меньшее воздействие, чем усилия от основных вертикальных нагрузок. Однако вертикальные сейсмические силы уменьшают полезный эффект сил трения, снижают запасы устойчивости сооружения и тем самым способствуют развитию повреждений от горизонтальных сейсмических сил;

- гидравлическим давлением воды на опоры, изменением механических свойств и снижением несущей способности грунтов при землетрясениях, развитием остаточных деформаций в грунтах в процессе землетрясений, вызывающих смещение опор.

Для мостов старой постройки характерно наличие специфических особенностей конструктивного исполнения, влияющих на их сейсмостойкость. К ним относятся: отсутствие каких-либо креплений, предотвращающих развитие больших перемещений и сброс пролетных строений с опор; применение бетонных и каменных конструкций, запрещенных действующими

щими в настоящее время нормативными документами для строительства в сейсмических районах.

Отмеченные особенности негативно влияют на сейсмостойкость эксплуатируемых мостов. Так, практически все малые мосты старой постройки имеют плоские опорные части в виде двух металлических листов. При разрушительных землетрясениях весьма вероятно сброс таких пролетных строений с опор. Даже при сравнительно слабых толчках силой менее 8 баллов в опорных частях таких мостов возникают значительные подвижки.

Бетонные и каменные конструкции опор и фундаментов подвержены хрупкому разрушению. Значительное количество бетонных и каменных опор мостов, как показало обследование, получили серьезные повреждения при землетрясениях.

Большое значение при классификации мостов по сейсмостойкости имеет правильный учет дефектов конструкции. С этой точки зрения все дефекты можно подразделить на три большие группы: нарушающие эксплуатацию моста, не нарушающие эксплуатацию моста, но существенно снижающие его сейсмостойкость и не влияющие на сейсмостойкость моста.

При наличии дефектов первой группы мост нуждается либо в замене, либо в усилении и вопрос о его сейсмостойкости не является актуальным.

К дефектам второй группы относятся: трещины в опорах, разрушающие их общую целостность; разрушение бетона и каменной кладки, уменьшающие площадь сечения более чем на 10%; разрушение раствора в каменных опорах на глубину более 20 см и при протяженности более 1/4 периметра опоры; отсутствие устройств против сбрасывания пролетных строений с опор; заклинивание опорных частей. При классификации конкретных мостов в зависимости от условий их эксплуатации ко второй группе могут быть отнесены и некоторые другие дефекты. Например, конструкцию с трещинами, нарушающими ее целостность, считают несейсмостойкой. В остальных случаях фактические дефекты учитываются в расчетах путем снижения прочностных характеристик материала, уменьшения площадей.

Большое влияние на класс сейсмостойкости оказывает изменение грунтовых условий при землетрясении. Имеются данные о возникновении дополнительных неравномерных просадок оснований, возникающих при землетрясении и продолжающихся после него.

К дефектам третьей группы относятся мелкие повреждения пролетных строений и опор, не отнесенные ко второй группе.

9.2. Методы оценки сейсмостойкости эксплуатируемых мостов при их реконструкции

При реконструкции и усилении важной задачей является оценка сейсмостойкости эксплуатируемых сооружений. При оценке сейсмостойкости старых мостов принят принцип их классификации, аналогичный принципу оценки грузоподъемности мостов.

Под классом сейсмостойкости элемента сооружения понимают максимальную силу землетрясения в баллах, которую может выдержать элемент без перехода в предельное состояние, а под классом сейсмостойкости сооружения - минимальный класс его элемента.

Класс сейсмостойкости элемента K_s можно определить из уравнения

$$\varphi_{\Sigma}(K_s) = \varphi_{пр}(K_s),$$

где $\Phi(K_s)$ – суммарное значение проверяемого фактора в элементе сооружения от сейсмической нагрузки, вызванной землетрясением силой K_s баллов, и от несейсмической нагрузки; $\Phi_{пр}(K_s)$ – предельное допустимое значение фактора.

Наряду с расчетным классом K_s , с точки зрения эксплуатации мостов, имеет значение и минимальный класс сейсмостойкости K_s^{\min} . При землетрясении силой $I > K_s^{\min}$ нарушается нормальная эксплуатация моста.

Минимальный и расчетный классы сейсмостойкости можно определить из следующего уравнения:

$$K_s = J + \rho \log_2 \frac{\Phi_{пр}(K_s) - \Phi_0}{\Phi(J)},$$

где Φ_0 – значение проверяемого фактора в элементе от несейсмической нагрузки; J – сила землетрясения.

Сейсмическое воздействие можно задавать как спектральной кривой, так и пакетом акселерограмм. В последнем случае в качестве класса сейсмостойкости следует принимать наименьшее значение K_s из числа полученных по всем акселерограммам пакета. Принцип оценки сейсмостойкости мостов путем классификации представляется весьма удобным, поскольку не только показывает степень сейсмостойкости моста и указывает наиболее слабый элемент конструкции, но и позволяет дать прогноз повреждений сооружения при землетрясениях.

Анализ повреждений мостов при землетрясениях и опыт классификации эксплуатируемых мостов показывает, что пролетные строения мостов характеризуются высокой сейсмостойкостью. Особое внимание с точки зрения сейсмостойкости должно быть уделено опорам мостов.

При оценке сейсмостойкости мостов на действующей сети железных и автомобильных дорог представляется необходимым рассматривать следующий комплекс задач:

- обследование мостов с целью подготовки исходных данных для их классификации по сейсмостойкости;
- расчет моста на воздействие тестового землетрясения с целью определения величины проверяемого фактора;
- определение расчетного и минимального классов сейсмостойкости моста;
- принятие решения о необходимости антисейсмического усиления эксплуатируемого моста;
- разработка технического решения антисейсмического усиления моста.

На основании описанных выше расчетов определяют расчетный класс сейсмостойкости моста K_s . Если величина K_s превосходит балльность площадки расположения сооружения, то мост следует считать сейсмостойким. Для несейсмостойких мостов необходимо решать вопрос о целесообразности их усиления. Очевидно, что с инженерной точки зрения усиление всех таких мостов нецелесообразно. Необходимо учесть предполагаемый срок службы моста, определяемый его грузоподъемностью и изношенностью, повторяемость землетрясений на площадке расположения моста и другие факторы.

9.3 Способы антисейсмического усиления мостов

Прежде всего, применяют способы, используемые при усилении на действие обычной нагрузки, которые обеспечивают восприятие и сейсмических сил.

Например, возможно устройство железобетонных рубашек на опорах, развитие фундаментов, усиление грунтов основания, усиление несущих конструкций одним из вышеизложенных способов. В отдельных случаях может оказаться целесообразным сооружение вне моста новой опоры с передачей на нее части горизонтальной нагрузки.

Вторая специальная группа методов усиления исходит из того, что сейсмические силы не являются для конструкции чисто внешними. Эти силы генерируются самой конструкцией в процессе ее колебаний и могут быть уменьшены за счет изменения динамической схемы сооружения и характера его взаимодействия с основанием.

Сейсмические силы зависят от динамических параметров колебаний сооружений (периодов, форм, частот). Эти параметры, в свою очередь, определяются расположением масс и жесткостью отдельных частей сооружения. Очевидно, что соответствующим перераспределением масс и жесткостей при усилении можно в некоторой степени регулировать сейсмические силы и внутренние усилия в сооружении, применять конструкции с более однородной структурой по длине и высоте, что смягчает неблагоприятный эффект при разнохарактерных колебаниях отдельных частей сооружения.

Сила инерции от веса пролетного строения и временной нагрузки, действующая вертикально, вызывает дополнительные сейсмические усилия в его конструкциях. Для основных несущих конструкций пролетного строения вертикальные сейсмические нагрузки не имеют решающего значения: повреждения, вызванные этой нагрузкой, наблюдаются редко. Несмотря на это, следует принимать меры для уменьшения сейсмического воздействия от вертикальных инерционных сил, которые сводятся в основном к уменьшению веса пролетных строений, либо к их восприятию конструкциями усиления.

В эксплуатируемых мостах часто применяют различные приемы сейсмозащиты. Устраивают сейсмоизолирующие скользящие пояса в плоскости соединения опорных частей пролетного строения с опорой (рисунок 9.1).

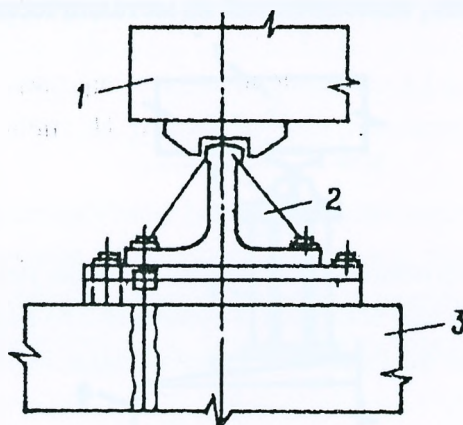


Рисунок 9.1 Сейсмоизолирующая опорная часть: 1 – пролетное строение; 2 – опорная часть; 3 – опора.

Устройство сейсмопоясов целесообразно при малой сейсмостойкости опор или фундаментов. В этом случае сейсмические нагрузки на верх опоры определяются силой трения в сейсмопоясах. В свою очередь при проектировании сейсмопоясов необходимо оценивать величину смещения пролетного строения относительно опоры, так как этим определяется нижняя граница силы трения в сейсмопоясе. При этом сила трения в сейсмопоясе не должна быть меньше горизонтальных нагрузок, передаваемых с пролетного строения на опору.

Для предотвращения сброса пролетных строений с опор устанавливают стопорные устройства на опорах. Стопоры являются резервными элементами и включаются в работу в том случае, если смещения превзойдут расчетные значения. Стопор представляет собой консольный стержень, прикрепленный к опоре. Он ограничивает величину смещения пролетных балок, воспринимает на себя их удар и тем самым предотвращает падение пролетных строений с опор (рисунок 9.2).

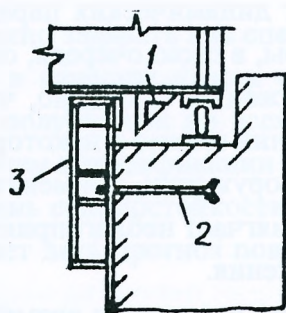


Рисунок 9.2 Антисейсмическое устройство: 1 – упор; 2 – анкер; 3 – стопор.

К антисейсмическим относятся мероприятия, обеспечивающие гашение колебаний. Для этого применяют два способа: динамическое гашение и демпфирование.

Теория динамического гашения достаточно хорошо разработана. В последние годы выполнены исследования по использованию динамических гасителей колебаний в сейсмостойком строительстве, в том числе и для мостов. Наиболее эффективно применение динамических гасителей, если в качестве гасящей массы используется пролетное строение.

Возможны два подхода к решению данной задачи. По первому способу пролетное строение устанавливают на столик, выполненный из металлических труб (рисунок 9.3).

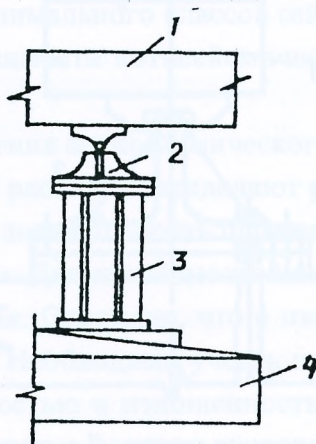


Рисунок 9.3 Конструкция опирания пролетного строения: 1 – пролетное строение; 2 – опорная часть; 3 – столик из металлических труб; 4 – опора.

Жесткость труб подбирается из условия противофазных колебаний пролетного строения и опоры. При этом частоты колебаний пролетного строения и опоры связываются определенным соотношением.

При использовании демпфирования в качестве гасителей колебаний их устанавливают между подвижными торцами пролетных строений или между концом пролетного строения с подвижной опорной частью и опорой. Наиболее просты в изготовлении и эксплуатации демпферы сухого трения. За рубежом используют такие демпферы, реализующие пластические свойства свинца.

Как показывает опыт по использованию средств сейсмозащиты, существенного эффекта можно достичь, применяя комбинированные устройства, включающие элементы как сейсмогашения, так и сейсмоизоляции, комбинацию сейсмоизоляции и демпфирования, устройство искусственных оснований и целый ряд других решений.

Наибольший интерес представляет класс систем гашения колебаний с заданными параметрами. Идея их заключается в создании неравнопрочной конструкции, повреждение которой планируется при землетрясении и легко устраняется впоследствии. В результате повреждения меняются динамические свойства конструкции, которые приводят к снижению сейсмических нагрузок и обеспечивают сохранность сооружения.

В ряде случаев для снижения сейсмических нагрузок полезным может оказаться укрепление грунтов основания или искусственное водопонижение. Усиление основания в этом случае не просто улучшает прочностные свойства, а прежде всего повышает категорию грунта основания, снижая тем самым сейсмичность площадки расположения моста.

10 Проблемы оптимизации реконструкционных работ

10.1 Общие проблемы оптимизации реконструкционных работ

Отметим, что любые программы развития транспортных магистралей, в том числе и «Мосты XXI века», разрабатываются таким образом, чтобы могли быть использованы при:

- обосновании размеров уширения существующих мостовых переходов;
- разработке схем развития и размещения сети мостов на автомобильных дорогах;
- обосновании оптимальных соотношений в объемах строительства новых мостовых сооружений и уширения (реконструкции) существующих;
- определении последовательности уширения (реконструкции) существующих и строительства новых мостов на автомобильных дорогах.

При определении оптимальных объемов работ по уширению мостов необходимо учитывать различные условия их функционирования в процессе эксплуатации:

- 1) мосты, функционирующие как обособленные транспортные узлы, т. е. не имеющие существенных транспортных связей с другими сооружениями;
- 2) мосты, функционирующие как транспортные узлы в системе других мостов, т. е. имеющие транспортные связи с другими сооружениями.

В качестве критерия существенности транспортных связей между мостами принимают предельные значения коэффициентов смещения центра тяжести перевозок, установленные в зависимости от плотности сети дорог

Коэффициент смещения центра тяжести перевозок определяют по формуле

$$K_c = \frac{2c - L}{2L} 100,$$

где c – расстояние от центра тяжести перевозок до дальней границы района тяготения, км; L – протяженность района тяготения, км.

Показатель геометрической характеристики района тяготения моста представляет собой соотношение средневзвешенных значений абсцисс и ординат корреспондирующих пунктов в прямоугольной системе координат, начало координатных осей которой совпадает с центром тяжести перевозок, спроектированным на ось водной преграды. Он определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N x_i q_i}{\sum_{i=1}^N y_i q_i},$$

где N – число корреспондирующих пунктов; q_i – объем перевозок по i -й корреспондирующей связи; x_i , y_i – соответственно абсцисса и ордината i -го корреспондирующего пункта.

Отметим, что объемы работ по уширению мостов зависят от группы сооружений, к которой они отнесены.

К первой группе относят мосты со следующими параметрами (таблица 10.1)

При значениях K_c больше, чем указано в таблице, мост относится ко второй группе сооружений.

Таблица 10.1

Плотность дорог, км/км ²	Геометрическая характеристика района тяготения, α	Коэффициент смещения K_c
0,6-0,9	0,5	≤ 35
0,6-0,9	1	≤ 17
0,7-0,9	2	≤ 12
$< 0,6$	5	≤ 10
$< 0,6$	10	≤ 9

10.2 Определение оптимальных объемов работ по реконструкции I группы сооружений

В качестве критерия при определении оптимальных размеров уширения и сроков реконструкции мостов следует принимать показатель приведенных затрат на реконструкцию сооружений и осуществление транспортного процесса в районе их тяготения. Учитывается многостадийность работ по уширению.

Целесообразность многостадийного уширения устанавливается после определения возможного срока службы сооружения до его полного физического износа, определения перспективной интенсивности движения и построения графика ее изменения в течение срока службы сооружения.

На графике роста интенсивности движения отмечают такие ее значения, которые в соответствии с существующими нормами являются нижними границами интенсивности для различных категорий дорог.

Если такая граница одна, то целесообразно одностадийное уширение.

При количестве граничных значений, равном двум и более, необходима проверка на стадийную реконструкцию.

При одностадийной реконструкции размер уширения определяется необходимостью увеличения габарита до следующего по величине. При этом оптимальный срок реконструкции моста определяют из выражения для приведенных затрат:

$$П = \int_{t_p}^{t_p} C(t)r_i dt + K_{p,r} t_p + \int_{t_p}^{t_{cл}} C(t)r_i dt,$$

где $C(t)$ – транспортно-эксплуатационные расходы в i -м году эксплуатации моста, тыс. руб.; t_p – срок эксплуатации моста до уширения (год реконструкции) ($t_p - 1, 2, \dots, t_{cл}$); $t_{cл}$ – срок службы моста, лет.

При возможности многостадийной реконструкции моста следует рассматривать варианты и одностадийного уширения. При этом принимают, что реконструкция первой стадии уширения осуществляется в данный момент, а срок проведения реконструкции 2-й и последующих стадий определяется расчетным путем. Наилучший вариант определяют по минимуму приведенных затрат:

$$П_i = K^{(I)}_{p,r} + \int_{t_p}^{t_p^{(II)}} C(t)r_i dt + K^{(II)}_{p,r} t_p^{(II)} + \int_{t_p}^{t_p^{(III)}} C(t)r_i dt + \dots + K^{(Q)}_{p,r} t_p^{(Q)} + \int_{t_p}^{t_{cл}} (Q)C(t)r_i dt,$$

где $K_{pi}^{(I)}, K_{pi}^{(II)}, K_{pi}^{(Q)}$ – единовременные затраты, связанные с реконструкцией моста соответственно 1-й, 2-й и Q-й стадии при i-м размере его уширения, тыс. руб.; $\Delta C(t)$ – снижение транспортно-эксплуатационных затрат в (t-м году эксплуатации моста в результате его уширения, тыс. руб.); $t_p^{(II)}, t_p^{(III)}, \dots, t_p^{(Q)}$ – срок проведения реконструкции (уширения) моста 2-й и последующих стадий; Q – число стадий реконструкции (уширения) моста в период его эксплуатация.

Расчет целевой функции осуществляют на основе построения функциональной модели динамического программирования, которая является графическим отображением моделируемого процесса (рисунок 10.1).

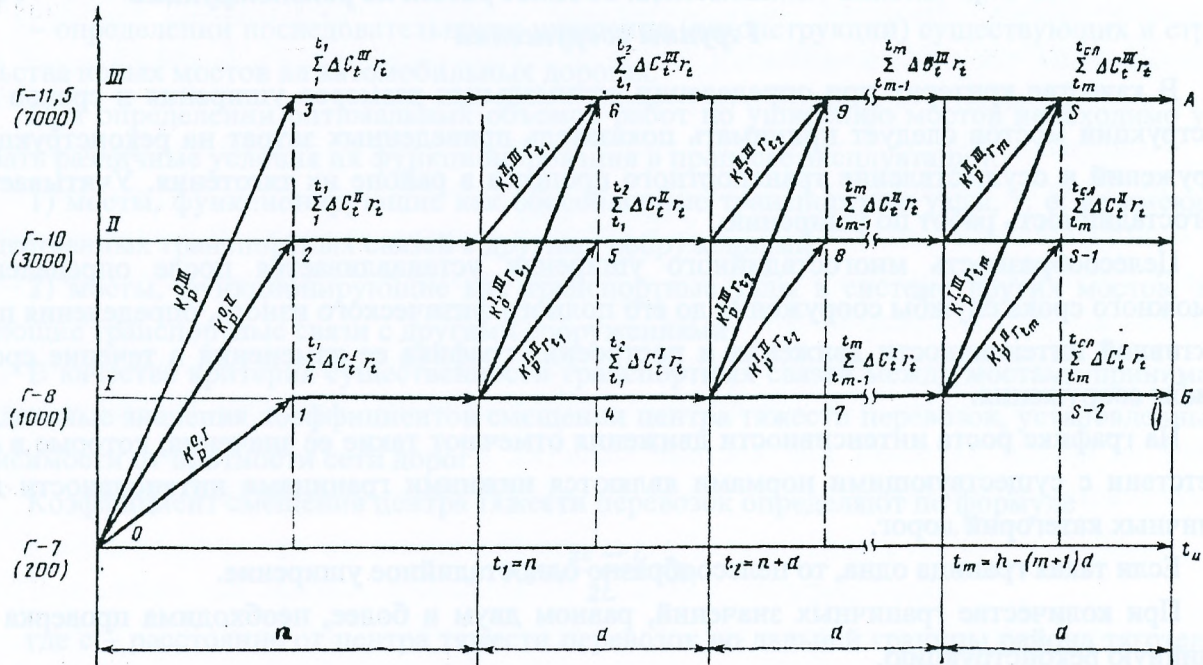


Рисунок 10.1 Функциональная модель проектирования оптимальных размеров уширения и сроков проведения работ по реконструкции моста.

Функциональную модель строят в прямоугольной системе координат, где на оси абсцисс (временной шкале) откладывают срок эксплуатации мостового сооружения; на оси ординат N выделяют существующий габарит моста и возможные варианты его развития в виде нескольких уровней (римские цифры), соответствующих типовой классификации габаритов мостов. На этой же оси фиксируют значения интенсивности движения, соответствующие каждому уровню функциональной модели.

На временной шкале выделяют отрезок n , характеризующий время эксплуатации моста с существующим габаритом до момента, соответствующего нижнему граничному значению интенсивности движения для большего габарита. Оставшийся период времени делят на несколько равных интервалов d . При этом допускается, что лишь в начале каждого интервала может приниматься решение о реконструкции моста с целью последующего увеличения его габарита.

Через точки деления оси абсцисс и ординат проводят соответственно вертикальные и горизонтальные сплошные линии; через точки, характеризующие центры интервалов оси абсцисс, – штриховые вертикальные линии. Точки пересечения штриховых вертикальных

линий с горизонтальными (узлы функциональной модели) в получаемой решетке нумеруют, как показано на рисунке.

Начало координат (точку 0) соединяют наклонными стрелками с узлами функциональной модели, расположенными правее и выше. Эти стрелки имитируют затраты первой стадии, реконструкции при уширения мостов до габаритов, соответствующих каждому уровню функциональной модели.

Отрезки горизонтальных линий от узлов до конца первого временного интервала заменяют горизонтальными стрелками, имитирующими транспортно-эксплуатационные затраты (или их снижение в результате реконструкции моста) в период эксплуатации сооружения, равный отрезку времени p .

Аналогично наклонными стрелками фиксируются затраты на реализацию рассматриваемых вариантов 2-й и последующих стадий реконструкции, осуществляемых в моменты соответственно t_1, t_2, \dots, t_m , а горизонтальными стрелками – транспортно-эксплуатационные затраты (или их снижение) после проведения существующих реконструкций за отрезки времени d .

Маркировка наклонных стрелок полученной функциональной модели осуществляется показателями K_p , характеризующими единовременные затраты и реконструкцию мостового перехода и рассматриваемые моменты времени с учетом коэффициентов дисконтирования r_t . Верхние индексы при этих показателях указывают на исходную величину габарита моста (до очередной реконструкции) и последующий вариант его развития в результате реконструкции.

Горизонтальные стрелки функциональной модели маркируют размером суммарных транспортно-эксплуатационных затрат $C_d r_t$ или суммарными размерами их снижения $\sum_{t=1}^{t=t+1} \Delta C_t r_t$ связанными с осуществлением транспортного процесса через мостовой переход в периоды его эксплуатации между рассматриваемыми вариантами реконструкции. Верхний индекс при этих показателях указывает на вариант развития габарита моста, для которого рассчитывают транспортно-эксплуатационные затраты (или их снижение по сравнению с существующим габаритом моста). При использовании функциональной модели решение задачи определения оптимальных размеров уширения и сроков реконструкции сводится к отысканию на сетевой диаграмме траектории (в направлении стрелок), обладающей минимальной суммой оценок.

10.3 Определение оптимальных объемов работ по реконструкции II группы сооружений

Используется следующая экономическая постановка задачи.

На водной преграде (водных преградах) известно местоположение одного или нескольких постоянных мостов (на разных дорогах) с недостаточной пропускной способностью, которые связаны с другими постоянными и временными мостовыми переходами дорожной сетью. Известны: количество корреспондирующих пунктов, связанных между собой посредством искусственных сооружений, расстояния перевозок между ними и интенсивность движе-

ния по корреспондирующим пунктам района тяготения мостов на исходный год и перспективу.

В результате решения задачи устанавливаются:

- оптимальные объемы работ (в м²) по уширению существующих мостовых сооружений и строительству новых мостов по каждому году рассматриваемого планового периода;
- последовательность выполнения во времени объемов работ по реконструкции и строительству сооружений;
- интенсивность между всеми корреспондирующими пунктами, обеспечивающую рациональную маршрутизацию перевозок в районе тяготения искусственных сооружений.

При принятом критерии оптимальности целевая функция поставленной задачи описывается следующим образом:

$$\sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{p_i=1}^{p_i} C_i^{p_i} (\gamma N_i^t(p_i)) \gamma N_i^t(p_i) r_i^{p_i} + 365 q_{cp} \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K (C_{l,k} N_{lik}^t \times \right. \right. \\ \left. \left. \times d_{lik} + C_{kil} N_{kil}^t d_{kil}) \right] (1 + E_n)^{-t} \right\} \rightarrow \min,$$

где L, K – количество корреспондирующих пунктов, расположенных соответственно с левой и правой стороны водной преграды; l, k – номер корреспондирующего пункта соответственно с левой и правой стороны водной преграды (l=1, 2, ..., L), (k=1, 2, ..., K); n – количество постоянных и временных мостовых переходов в рассматриваемом районе; i – номер местоположения мостового перехода (i=1, 2, ..., n); T – продолжительность планового периода, годы; t – номер года планового периода (t=1, 2, ..., T); P_i – количество вариантов габарита проезжей части (i-го моста; p_i – номер варианта габарита проезжей части l-го моста (p=1, 2, ..., p), при p=1 габарит моста равен 0; C_i^{p_i} – затраты на строительство или реконструкцию моста и расчете на 1 м² его площади в i-м пункте при p_i-м варианте его габарита; γ – коэффициент пропорциональности, характеризующий отношение между габаритом моста, и его пропускной способностью (интенсивностью движения) м² (авт./сут); N^(p_i) – пропускная способность моста (интенсивность движения в l-м пункте при p_i-м варианте его габарита в году t), авт./сут; r_i^{p_i} – переменная, выражающая требование целочисленности в формальной формулировке задачи и принимающая значения 0 или 1 (r_i^{p_i}=1 означает, что данный вариант габарита моста входит в оптимальный план; r_i^{p_i}=0 характеризует такое положение, когда в i-й

точке размещения дислоцирован мост на с p_i-м вариантом габарита), $\sum_{p_i} r_i^{p_i} \leq 1$, q_{cp} – средняя грузоподъемность автомобилей в потоке, т; C_{kil} – себестоимость автомобильных перевозок между пунктами l и k через i-й мост в расчете на 1 т.км; N_{kil} – интенсивность движения автомобилей между пунктами l и k через l-й мост в год t, авт./сут; N_{kil}^t – интенсивность движения автомобилей между пунктами k и l через l-й мост в год t, авт./сут; d_{lik} – расстояние перевозок между пунктами l и k через i-й мост, км; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности (E=0,12).

Для решения задачи развития и размещения сети мостов на автомобильных дорогах в принятой постановке должны вводиться следующие ограничения:

1) пропускная способность (габарит) l-го моста должна быть не меньше имеющейся интенсивности движения

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K (N^{l,ik} + N^{l,kl}) \leq \sum_{p_i=1}^{P_i} N^{l,ir}, \quad i = \overline{1, n}; \quad t = \overline{1, T};$$

2) искомая суммарная пропускная способность мостов не должна быть меньше имеющейся

$$\sum_{i=1}^n \sum_{p_i=1}^{P_i} N^{l,ir} \geq \sum_{i=1}^n \sum_{p_i=1}^{P_i} N^{l-1,ir} P_i; \quad t = \overline{1, T};$$

3) пропускная способность каждого существующего моста должна быть не меньше имеющейся

$$\sum_{p_j=1}^{P_j} N^{l,jr} P_j \geq \sum_{p_j=1}^{P_j} N^{l-1,jr} P_j; \quad t = \overline{1, T}; \quad j \in J \in I,$$

где j – номер существующих постоянных мостов ($j=1, 2, \dots, J$); J – количество существующих мостов ($J \in I$); I – возможные точки размещения мостов ($i \in I$);

4) суммарная интенсивность движения от l -х пунктов до k -го пункта через все мосты должна обеспечивать реализацию всех транспортных потоков, выходящих из пунктов l и входящих в пункт k

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^n N^{l,ik} = N^{2,k}; \quad k = \overline{1, k}; \quad t = \overline{1, T};$$

5) интенсивность движения от k -го в l -е пункты должна обеспечивать реализацию всех транспортных потоков, выходящих из пункта k и входящих в пункты l

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^n N^{l,kl} = N^{1,l}; \quad k = \overline{1, k}; \quad t = \overline{1, T};$$

6) суммарная интенсивность движения от k -х пунктов до l -го пункта через все мосты должна обеспечивать реализацию всех транспортных потоков, выходящих из пунктов k и входящих в пункт l

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n N_{k,il} = N^{2,l}; \quad l = \overline{1, L}; \quad t = \overline{1, T};$$

7) интенсивность движения от l -го в k -е пункты через все мосты должна обеспечивать реализацию всех транспортных потоков, выходящих на пункта l и входящих в пункты k

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n N^{l,ik} = N^{1,l}; \quad l = \overline{1, L}; \quad t = \overline{1, T};$$

8) пропускная способность всех постов должна быть не меньше интенсивности движения, обеспечивающей реализацию транспортных потоков, выходящих и входящих во все пункты l или k

$$\sum_{i=1}^n N^{l,i} \geq \sum_{l=1}^L (N^{1,l} + N^{2,l}); \quad t = \overline{1, T};$$

11 Производство реконструкционных работ

11.1 Особенности производства реконструкционных работ

Все работы по уширению мостов следует выполнять, руководствуясь требованиями СНиП.

Уширение моста или путепровода начинают с уширения опор и подходов. При уширении промежуточных опор путепровода подготовка, ригеля или тела опоры может быть осуществлена без обстройки, но с использованием транспортно-подъемных средств – вертикальных и консольных подъемников. В мостах промежуточные опоры обстраивают подвесными ходами и лесами для выполнения работ по наращиванию ригеля и тела опоры. Для схем уширения, требующих развития фундаментной части, предварительно забивают сваи. Сваебойные работы целесообразно осуществлять в зимнее время с грунта или со льда. При необходимости забивки по одной-две сваи усиления с каждой стороны опоры работы по забивке сваи допускается вести с моста, используя при этом специальные механизмы, позволяющие забивать сваи сбоку. При нахождении такого механизма на мосту движение по сооружению прекращают.

При уширении устоев последовательность работ принимают следующей: забивают сваи, отсыпают конусы, наращивают ригель и шкафную стенку укладывают переходные плиты. До забивки свай в конусе разравнивают площадку. Для случая забивки свай в заранее уширенную насыпь (конус) разравнивают площадки под каждую сваю, обозначая таким образом ее проектное положение. Работы по уширению устоев не требуют, как правило, обстройки.

При уширении опор движение по мосту не прерывают.

Для уширения промежуточных опор необходимо предварительно выполнить ее обстройку, обеспечивающую безопасное нахождение рабочих при выполнении опалубочных, арматурных и бетонных работ.

Уширение сборными накладными плитами необходимо осуществлять, как правило, с перекрытием или ограничением движения транспортных средств, производя монтаж плит поочередно на одной и другой половине моста и используя свободные полосы существующей или вновь устроенной проезжей части для пропуска транспортных средств (строительных машин или, в отдельных случаях, потока, автомобилей). Принципиальные схемы организации движения на период реконструкции следующие (рисунок 11.1).

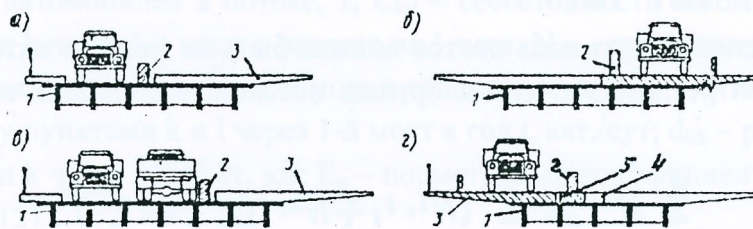


Рисунок 11.1 Схемы организации движения по мосту, уширяемому сборной накладной плитой: а, б – по одной полосе и установкой права преимущественного проезда; в – по двум полосам проезда; г – с выносом движения на консольный участок

накладной плиты; 1 – существующее пролетное строение; 2 – блоки ограждения; 3 – консольные накладные плиты; 4 – средняя вставка; 5 – анкер.

При сохранении движения по одной полосе реконструируемого моста покрытие не должно иметь неровностей. Необходимо обеспечить регулирование движения по мосту с заданной скоростью, интервалом и в пределах допустимого веса транспортного средства.

Возможность частичного пропуска транспортных средств по мосту при его уширении определяется в каждом конкретном случае отдельно. При этом реальная возможность такой организации существует при уширении по схемам, не требующим замены сдоев одежды, а с заменой слоев – при габаритах не менее 9,0 м.

При выполнении бетонных работ по объединению элементов, а также в процессе твердения бетона и набора прочности до 0,5 от марочной, вес проходящих автомобилей ограничивают величиной, при которой в арматуре омоноличиваемого участка возникают напряжения не более $0,2R_s$.

В случаях, когда при реконструкции участка дороги створ моста переносятся на новое место, старый участок с мостом используют в качестве временного объезда. Организация движения по мосту учитывает в этом случае фактические габариты сооружения и состояние несущих конструкций.

Перед уширением сталежелезобетонных пролетных строений, предусматривающим замену железобетонной плиты, осуществляют работы по усилению элементов главных балок и поперечных горизонтальных связей с целью предотвращения потери устойчивости элементов при демонтаже плит (рисунок 11.2).

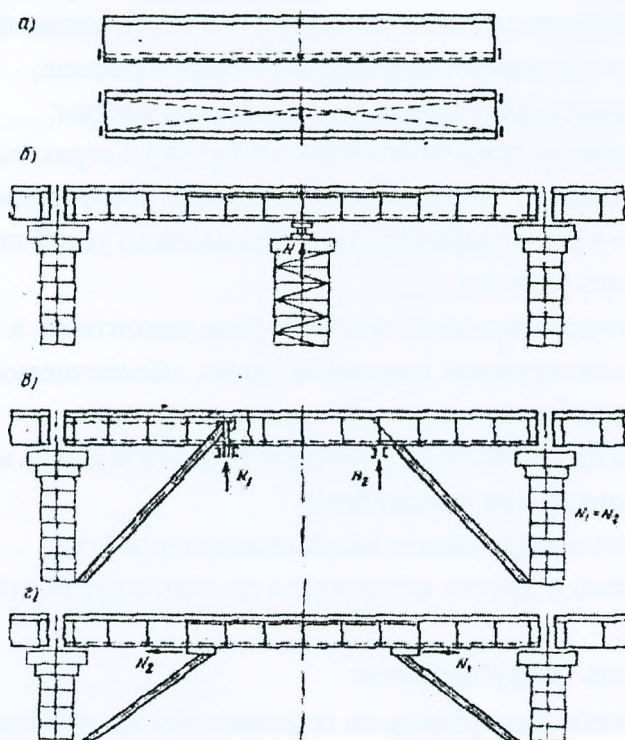


Рисунок 11.2 Методы регулирования усилий: а – натяжение арматуры с пролетных строений; б – поддомкрачивание с промежуточной временной опоры; в, г – с подкосных рам.

Для регулирования усилий при включении железобетонной плиты проезжей части в работу металлического пролетного строения следует использовать временную опору, расположенную в середине пролета.

В случае невозможности или нецелесообразности использования временной опоры допускается регулирование усилия с помощью подкосных рам (в, г) или продольной натягаемой арматуры (а).

В процессе регулирования движение по сталежелезобетонному пролетному строению не допускается.

11.2. Основные требования по безопасности работ

В проектах производства работ (ППР) по реконструкции мостов должны содержаться технические решения и основные организационные мероприятия по обеспечению безопасных условий труда и санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих.

В целях обеспечения безопасных условий труда в ППР должны быть предусмотрены меры по предупреждению:

- падения людей с высоты; падения монтируемых (демонтируемых) элементов моста;
- падения используемых материалов и инструмента с верхнего яруса работ на нижний;
- опасного или вредного действия на людей машин, оборудования, материалов и электрического тока.

Исходными, документами при решении вопросов по обеспечению безопасности труда в ППР должны быть существующие нормативные документы.

Для предупреждения падения людей с высоты в ППР необходимо предусмотреть:

- защитные ограждения в соответствии; средства подмащивания;
- пути подхода или средства доставки людей к рабочим местам;
- места и способы крепления предохранительных поясов и страховочных канатов.

Для предотвращения падения (обрушения) элементов конструкций при монтаже (демонтаже) в ППР необходимо учесть требования по обеспечению устойчивости конструкций.

Кроме того, должны быть указаны:

- технологическая последовательность монтажа (или демонтажа) элементов моста;
- способы строповки монтируемых элементов моста, обеспечивающие подачу их в положение, соответствующее или близкое к проектному;
- способы устойчивого временного закрепления элементов моста перед их расстроповкой при монтаже (или строповкой при демонтаже);
- способы окончательного закрепления элементов при монтаже.

Выбор монтажных кранов и других механизмов должен определяться в зависимости от методов монтажа.

Кроме того, должны быть предусмотрены:

- использование технических средств по ограничению пути движения или угла поворота машины;
- система сигналов (звуковых, знаковых, световых), а при необходимости радио- или телефонная связь для обеспечения согласованности в действиях машинистов или лиц, работающих вручную;

- безопасные расстояния между одновременно работающими на одном участке машинами, а также машинами или лицами, работающими вручную;
- схемы и ограждения места работ (в случаях, если работы производятся без прекращения движения транспорта по мосту) при обрубке консолей плит, монтаже добавляемых балок пролетных строений, уширении устоев и монтаже переходных плит;
- средства искусственного (при недостатке естественного) освещения строительной площадки и рабочих мест (особенно при уширении опор, когда работы ведутся под пролетным строением, или усилении стальных конструкции, когда работы ведутся между балками).

Рекомендуемая литература

- 1 ВСН 44-93. Инструкция по проведению осмотров и оценке технико-эксплуатационного состояния мостов и труб на автомобильных дорогах. – Минск.: Миндорстрой РБ, 1993.
- 2 ВСН 32-81. Инструкция по устройству гидроизоляции мостов и труб на железных и автомобильных дорогах. – М.: Минтрансстрой МПС, 1982.
- 3 ВСН 51-88 Инструкция по уширению автотрасных мостов и путепроводов. – Москва-Минск.: Минавтодор РФ и Миндорстрой РБ, 1998.
- 4 Кирилов В.С. Эксплуатация и реконструкция мостов и труб на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1971.
- 5 РД 0219.1-16-99. Руководство по повторному применению балок пролетных строений при ремонте и реконструкции мостов. – Минск.: БелдорНИИ, 2000.
- 6 СНиП 3.06.04-91. Мосты и трубы. – М.: Стройиздат, 1992.
- 7 СНиП 3.06.87-86. Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний. – М.: Стройиздат, 1987.
- 8 ГОСТ 35-27.2-85. Звенья железобетонных прямоугольных водопропускных труб под железные и автомобильные дороги. Конструкции и размеры. – Минск.: Минтрансстрой, 1986.
- 9 ТУ 218.70-92. Балки железобетонные, предварительно напряженные длиной 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 и 32 м для пролетных строений мостов на автомобильных дорогах. – Минск.: Белгипродор, 1993.
- 10 ТУ 218.84-93. Балки железобетонные таврового сечения с ненапряженной арматурой длиной 12, 15, и 18 м для пролетных строений автодорожных мостов. – Минск.: Дорстройтехника, 1994.
- 11 ТУ 218.91-97. Балки железобетонные рамнонеразрезных пролетных строений мостов и путепроводов на автомобильных дорогах. – Минск.: Дорстройтехника, 1994.

Оглавление

стр.

1 Общие проблемы реконструкции автомобильных дорог	4
1.1 Дорожная сеть республики и ее состояние.....	4
1.2 Понятие о реконструкции дорог.....	6
1.3 Характер работ, выполняемых при реконструкции дорог	9
1.4 Изменение условий движения при возрастании интенсивности движения	10
1.5 Снижение безопасности при возрастании интенсивности движения.....	14
2 Параметры, определяющие технические решения при реконструкции дорог....	18
2.1 Пропускная способность существующих дорог и мероприятия по ее повышению при реконструкции.....	18
2.2 Скорость транспортного потока, как показатель потребности в реконструкции дорог	22
2.3 Выбор расчетной скорости движения на реконструируемых дорогах.....	23
2.4 Очередность проведения мероприятий по устранению опасных участков при выборочной реконструкции дороги.....	24
3 Особенности изысканий при реконструкции дорог	27
3.1 Особенности изыскательских работ для составления проекта реконструкции дорог.....	27
3.2 Полевые работы на изысканиях для реконструкции дорог.....	27
3.3 Обследование дорожных одежд.....	28
3.4 Измерение скоростей движения автомобилей на дороге	30
3.5 Изучение траектории движения автомобилей на кривых малых радиусов	32
4 Инженерные решения по реконструкции дороги в плане и продольном профиле.....	34
4.1 Исправление трассы дороги в плане.....	34
4.2 Уширение земляного полотна при реконструкции дорог	36
4.3 Обеспечение зрительной ясности направления дороги	38
4.4 Кривые в плане и обходы населенных пунктов	39
4.5 Улучшение пересечений водотоков.....	43
5 Особенности реконструкции дорог в сложных условиях.....	45
5.1 Увеличение отметок земляного полотна и устранение пучинистых мест.....	45
5.2 Исправление продольного профиля при реконструкции дорог.....	46
5.3 Улучшение пересечений реконструируемой дороги с другими дорогами	49
5.4 Улучшение условий движения по пересечениям в одном уровне	51
5.5 Реконструкция участков дорог в пределах населенных пунктов	54
5.6 Оборудование дороги площадками отдыха, местами стоянки автобусными посадочными площадками.....	55
5.7 Проектирование мероприятий по организации движения	57
6 Особенности перестройки земляного полотна при реконструкции дороги	59
6.1 Особенности изменения прочности земляного полотна и дорожных одежд.....	59
6.2 Связь пучинообразования с водно-тепловым режимом земляного полотна	59
6.3 Расчетные характеристики грунтов земляного полотна.....	61

6.4	Расчет избытка свободной воды в верхних слоях земляного полотна.....	62
6.5	Исправление земляного полотна при реконструкции автомобильных дорог	63
6.6	Повышение устойчивости откосов реконструируемого земляного полотна	66
6.7	Особенности производства работ по уширению земляного полотна.....	69
6.8	Производство работ по возвышению земляного полотна и исправлению продольного профиля.....	71
6.9	Особенности планировки откосов земляного полотна.....	73
6.10	Укрепление откосов земляного полотна.....	73
6.11	Контроль качества и приемка земляного полотна	77
7	Перестройка дорожных одежд на реконструируемых дорогах	78
7.1	Особенности использования старой дорожной одежды	78
7.2	Разборка существующих дорожных одежд.....	79
7.3	Способы использования материалов старых дорожных одежд	79
7.4	Уширение дорожных одежд	81
7.5	Устройство краевых полос	83
7.6	Расчет усиления дорожных одежд.....	84
7.7	Усиление существующих дорожных одежд.....	86
7.8	Особенности строительства новых дорожных одежд на поднятом и на новом земляном полотне.....	89
8	Организация работ при реконструкции автомобильных дорог	93
8.1	Особенности организации работ при реконструкции дорог.....	93
8.2	Определение очередности производства работ по участкам дороги и видам работ	93
8.3	Мероприятия по обеспечению пропуска движения в период производства работ по реконструкции дороги.....	95
8.4	Выбор скоростей строительных потоков	99
8.5	Современные проблемы организации работ по реконструкции дорог	100
9	Эффективность реконструкции автомобильных дорог	102
9.1	Критерий экономической эффективности проектных решений.....	102
9.2	Особенности методики расчетов экономической эффективности при реконструкции автомобильных дорог.....	103
9.3	Определение размеров единовременных и текущих затрат при реконструкции автомобильных дорог.....	105
9.4	Учет режимов движения при оценке экономического эффекта от реконструкции дорог.....	105
9.5	Учет обеспеченности безопасности движения при оценке экономической эффективности реконструкции дорог	107
	Рекомендуемая литература	110

Часть II	112
1 Общие проблемы и анализ методов реконструкции мостов и других искусственных сооружений	113
1.1 <i>Общие проблемы реконструкции мостов в Республике Беларусь</i>	<i>113</i>
1.2 <i>Анализ существующих и перспективных методов реконструкции мостов в близком зарубежье</i>	<i>115</i>
1.3 <i>Анализ существующих и перспективных методов реконструкции мостов в дальнем зарубежье</i>	<i>120</i>
2 Основные технические решения по уширению мостов	124
2.1 <i>Общие принципы реконструкции</i>	<i>124</i>
2.2 <i>Состав исходных данных для разработки проекта реконструкции</i>	<i>126</i>
2.3 <i>Принципиальные схемы уширения железобетонных пролетных строений</i>	<i>127</i>
2.4 <i>Принципиальные схемы уширения сталежелезобетонных пролетных строений с прокатными балками</i>	<i>133</i>
2.5 <i>Особенности объединения накладных плит и приставных балок и плит</i>	<i>134</i>
2.6 <i>Принципиальные схемы уширения сталежелезобетонных двухбалочных пролетных строений</i>	<i>136</i>
2.7 <i>Номенклатура конструкций применяемых для уширения</i>	<i>139</i>
2.8 <i>Принципиальные схемы уширения опор</i>	<i>141</i>
3 Основы проектирования реконструкции мостов	147
3.1 <i>Общая методика проектирования уширения мостов</i>	<i>147</i>
3.2 <i>Особенности расчетов пролетных строений</i>	<i>148</i>
3.3 <i>Методика учета в расчетах длительных деформаций</i>	<i>149</i>
3.4 <i>Общая методика проектирования уширения опор</i>	<i>150</i>
4 Способы и расчеты усиления пролетных строений и их элементов при реконструкции железобетонных мостов	151
4.1 <i>Общие принципы усиления пролетных железобетонных строений</i>	<i>151</i>
4.2 <i>Способы усиления балок малых мостов</i>	<i>152</i>
4.3 <i>Способы усиления балок средних и больших мостов</i>	<i>157</i>
4.4 <i>Способы усилений пролетных строений</i>	<i>161</i>
4.5 <i>Способы усиления диафрагм</i>	<i>165</i>
4.6 <i>Способы усиления коробчатых пролетных строений</i>	<i>165</i>
4.7 <i>Особенности расчета усиленных железобетонных элементов</i>	<i>166</i>
4.7.1 <i>По схемам усиления наращиваем высоты</i>	<i>166</i>
4.7.2 <i>По схемам усиления преднапряженными затяжками</i>	<i>167</i>
4.7.3 <i>По схемам усиления введением дополнительной арматуры с прибетонированием плит</i>	<i>169</i>
5 Усиление стыков составных конструкций и методы их расчетов	171
5.1 <i>Усиление стыков составных конструкций</i>	<i>171</i>
5.2 <i>Расчеты конструкций усиления стыков</i>	<i>173</i>
5.2.1 <i>Особенности расчета шпоночных соединений</i>	<i>173</i>
5.2.2 <i>Особенности расчета дополнительных элементов усиления</i>	<i>175</i>

5.3	Технология устройства конструкций усиления.....	177
5.4	Конструирование и расчет стыка, усиленного шпонками	178
5.5	Расчет клеештыревого стыка между бетоном ослабленной конструкции и бетоном усиления	179
5.5.1	Расчет прочности на действие изгибающих усилий	181
5.5.2	Расчет прочности на действие сдвигающих усилий	181
6	Усиление арочных и металлических пролетных строений	182
6.1	Усиление массивных арочных пролетных строений.....	182
6.2	Общие принципы усиления металлических пролетных строений	183
6.3	Усиление металлических балок	188
6.4	Усиление сплошных и сквозных главных ферм.....	196
6.5	Расчеты усиления металлических пролетных строений и их элементов.....	205
6.6	Особенности усиления и переустройства связей между главными фермами.....	209
6.7	Изменение отметок проезда на мостах.....	210
6.8	Усиление проезжей части	211
6.9	Особенности реконструкции ограждающих устройств.....	212
7	Усиление опор и деревянных мостов	214
7.1	Особенности усиления опор	214
7.2	Усиление деревянных мостов	217
8	Реконструкция однопролетных мостов и водопропускных труб	222
8.1	Особенности реконструкции однопролетных мостов.....	222
8.1.1	Особенности усиления опоры в поперечном направлении.....	223
8.1.2	Усиление опор в продольном направлении.....	225
8.1.3	Особенности устройства открьлков при реконструкции мостов.....	226
8.1.4	Особенности усиления фундаментов опор.....	228
8.1.5	Реконструкция подмостового русла	229
8.2	Особенности реконструкции мостов переустройством их в трубы.....	230
8.3	Реконструкция водопропускных труб.....	231
9	Особенности реконструкции мостов в сейсмических районах	235
9.1	Особенности сейсмического воздействия на мосты	235
9.2	Методы оценки сейсмостойкости эксплуатируемых мостов при их реконструкции.....	237
9.3	Способы антисейсмического усиления мостов.....	239
10	Проблемы оптимизации реконструкционных работ	242
10.1	Общие проблемы оптимизации реконструкционных работ.....	242
10.2	Определение оптимальных объемов работ по реконструкции I группы сооружений.....	243
10.3	Определение оптимальных объемов работ по реконструкции II группы сооружений.....	245
11	Производство реконструкционных работ	248
11.1	Особенности производства реконструкционных работ	248
11.2	Основные требования по безопасности работ.....	250
	Рекомендуемая литература	252

Учебное издание

Петр Владимирович Шведовский
Владимир Николаевич Дедок

**РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ, ДОРОГ
И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**
(курс лекций)

Редактор *Строкач Т.В.*

Ответственный за выпуск *Шведовский П.В.*

Художник *Шведовский П.В.*

Компьютерная верстка *Лукиша В.В.*



Лицензия ЛВ №382 1.09.2000 г.

Сдано в набор 20.10.2000. Подписано к печати 15.04.2001. Офсетная печать.
Формат 60x84 1/8 Бумага писч. Усл. п.л. 29,9 Уч. изд. л. 32,12 Тираж 100 экз Заказ
№ 354. Отпечатано на ризографе Брестского государственного технического
университета. 224017, Брест, ул. Московская, 267.